

УДК 378.147.1:004

DOI 10.11603/me.2414-5998.2019.2.10359

В. Д. Дідух

ORCID 0000-0002-5002-0830

ResearcherID O-8933-2016

Ю. А. Рудяк

ORCID 0000-0003-1836-9132

ResearcherID O-8292-2016

А. Б. Горкуненко

ORCID 0000-0002-2021-006X

ResearcherID B-3336-2016

І. П. Кузьмак

ORCID 0000-0002-5035-8815

ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет
імені І. Я. Горбачевського МОЗ України»

ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ МЕДИЧНОЇ ФІЗИКИ (ОПТИКА) (ЧАСТИНА 4)

V. D. Didukh, Y. A. Rudyak, A. B. Horkunenko, I. P. Kuzmak*I. Horbachevsky Ternopil State Medical University*

THE HISTORY OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF MEDICAL PHYSICS (OPTICS) (PART 4)

Анотація. У статті висвітлено історичні етапи розвитку оптики – розділу медичної фізики, в межах якої вивчається природа оптичного випромінювання (світла), досліджуються процеси випромінювання світла, його поширення в середовищі і взаємодія з речовиною, інтерференційні, дифракційні і поляриметричні явища. Розглянуто еволюцію знань людства про природу світла, фізичні основи дифракційних, інтерференційних, поляриметричних явищ, голографії, оптичні методи дослідження, а також світового значення відкриття, яке отримало назву «просвітлення оптики» українського фізика Олександра Смакули (1900–1983), уродженця с. Добриводи Збарзького району, що на Тернопільщині. Він винайшов спосіб покриття поверхні лінз оптичних пристроїв спеціальним тонким шаром певного матеріалу, що значно зменшував коефіцієнт відбитого світла від поверхні лінзи і набагато збільшував контрастність зображення.

Середньовічний філософ Роджер Бекон стверджував: «Оптика – прикраса всієї філософії, через яку, а не без неї, можуть бути показані всі інші науки».

Особливе місце в історії оптики займає вчення про зір. Давньоримський філософ Сенека писав: «Не все, однак, сягаємо оком, не все бачимо таким величним, яким воно є, але наш зір прокладає собі стежку для дослідження, закладає для нас підвалини пізнання правди, щоб від явного ми могли у своїх пошуках переходити до прихованого; віднаходити й те, що є давнішим від усього видимого світу».

У даній праці розглянуто історичні шляхи вчення про зір, етапи розвитку геометричної і хвильової оптики, фізичну природу оптичних явищ, оптичні методи дослідження медико-біологічних систем. Відзначимо, що випромінювання і поглинання світла розглядалися як неперервні процеси, проте в області коротких довжин хвиль спостерігалася невідповідність між існуючими теоріями і фізики заговорили про так звану «ультрафіолетову катастрофу». Тому-то необхідна була теорія, яка усувала б відповідні суперечності. Але про це вже буде сказано у наступній публікації.

Ключові слова: історія; медична фізика; оптика; зір; дифракція; поляризація; «просвітлення оптики»; голографія.

Abstract. The article highlights the historical stages of the optics development – the medical physics section, within which the nature of optical radiation (light), the processes of light radiation, its distribution in the medium and interaction with matter, interference, diffraction, and polarimetric phenomena are studied. The article deals with the evolution of human knowledge about the light nature, the physical foundations of diffraction, interference, polarimetric phenomena, holography, optical methods of research, and also considered the worldwide significance discovery, which was called “enlightenment of optics” by the Ukrainian physicist Olexander Smakula (1900-1983), who was born in village Dobryvody of Zbarazh district in Ternopil region. He invented the method of covering the surface of the lenses of optical devices with a special thin layer of a certain material, which greatly reduced the coefficient of reflected light from the surface of the lens and greatly increased the contrast of the image.

© В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, А. Б. Горкуненко, І. П. Кузьмак

Medieval philosopher Roger Bacon argued: “Optics is the flower of the whole philosophy and through it, and not without it, can the other sciences be known”

A special place in the history of optics is the doctrine of vision. Ancient Roman philosopher Seneca wrote: “Not all, however, reach our eyes, we do not see everything so magnificent as it is, but our vision sets a path for research, forms the foundation for us to know the truth so that from the apparent we could move in our quest to the hidden; to find out also what is older than the entire visible world”.

In this paper we consider the historical ways of the vision doctrine, the stages of the development of geometric and wave optics, the physical nature of optical phenomena, optical methods of research of medical-biological systems. Note that radiation and absorption of light were regarded as continuous processes, but in the field of short wavelengths there was a discrepancy between existing theories and physics talked about the so-called “ultraviolet catastrophe.” Therefore, a theory was needed that would eliminate the corresponding contradictions. But this will already be stated in the next article.

Key words: history; medical physics; optics; vision; diffraction; polarization; optics enlightenment; holography.

Вступ.

І сказав Бог: «Хай станеться світло!»

І сталося світло...

І був вечір, і був ранок, – день перший.

Книга Буття

Особливе місце в історії медицини і фізики займає вчення про зір. Сенека, давньоримський філософ, писав: «Не все, однак, сягаємо оком, не все бачимо таким величним, яким воно є, але наш зір прокладає собі стежку для дослідження, закладає для нас підвалини пізнання правди, щоб від явного ми могли у своїх пошуках переходити до прихованого – віднаходити й те, що є давнішим від усього видимого світу» [6].

У VI ст. до н. е. послідовники Піфагора вважали, що з ока людини виходить невидимий витік, який неначе обслідує спостерігаючий об'єкт. Емпедокл стверджував (V ст. до н. е.), що поруч із витіком з ока існує також витік із предмета, який світиться. Демокріт (460–370 рр. до н. е.) вважав, що зорове відчуття зумовлене попаданням в око атомів, які випромінює тіло. Евклід писав близько 300 р. до н. е., що «Випромінюючи очима промені поширюються по прямому шляху». І лише через чотири з половиною століття Гален (130–200) розглянув око як один із органів нашого організму, описав його будову і з'ясував функцію зорового нерва. В теорії зору Гален в основному був прихильником ідей Платона, але, з одного боку, надавав велике значення зовнішньому флюїду, який випромінює Сонце, а з іншого – стверджував, що «світло очей», яке виробляє мозок, іде по оптичному нерву до сітчастої оболонки, розсіюється у склоподібному тілі і знову попадає на кришталік, який він вважав органом сприйняття. Визначний арабський фізик Ібн Аль-Хайтана (Альхазен) (965–1039) прийняв без змін анатомічну будову ока, дану Галеном, проте відкинув його «світло очей» і висловив геніальний здогад: кожній точці видимої поверхні об'єкта відповідає певна точка всередині ока [3].

Ф. Мавролік розглянув у трактаті з оптики (1554) анатомію ока, механізм зору, дослідив властивості опуклих і вгнутих лінз.

Томас Юнг (1773–1829) – один із творців хвильової теорії світла, відкрив один із дефектів зору – дальтонізм (нездатність розрізняти червоний і зелений кольори).

Г. Гельмгольц у 1853 р. обґрунтував акомодацию ока на близьких і віддалених предметах.

Великий вклад у дослідження дисперсії і створення ахроматичних лінз вніс Йозеф Фраунгофер (1787–1826). Особливо велику цінність мав знайдений ним метод точного визначення форми лінз, який сприяв подальшому розвитку практичної оптики.

У 1890 р. шведський дослідник А. Гульстранд показав, що астигматизм усувається за допомогою циліндричних лінз. Йому, за роботи з діоптрики ока, у 1911 р. було присуджено Нобелівську премію з фізіології та медицини.

Мета статті – висвітлити історичні етапи розвитку оптики – розділу медичної фізики, в межах якої вивчається природа оптичного випромінювання (світла), досліджуються процеси випромінювання світла, його поширення в середовищі і взаємодія з речовиною, інтерференційні, дифракційні і поляриметричні явища.

Теоретична частина. Створення мікроскопа у 1595 р. Захаріасом Янсенем розширило для ока людини межі пізнання біологічного світу. Винахідник помістив всередині трубки дві опуклі лінзи, а фокусування на досліджуваному об'єкті досягалося шляхом пересування висувного тубуса, що дозволяло десятикратно його збільшити.

Подальші вдосконалення будови мікроскопа здійснювали фізики Галілео Галілей (1609) і Роберт Гук (рис. 1), що дозволило досліджувати будову рослин, мікроорганізмів. Роберт Гук у праці «Мікрографія» (1665), виходячи із власних мікроскопічних досліджень, описав клітини бузини, кропу, морк-

ви та інших рослин. Саме Роберт Гук ввів термін «клітина».

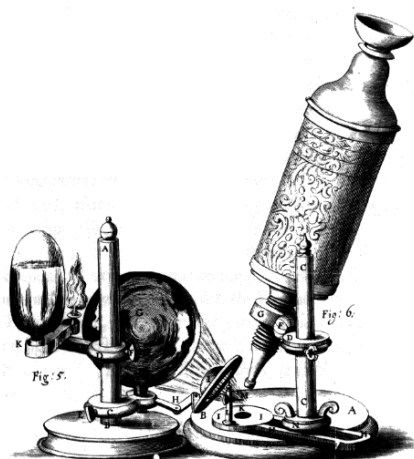


Рис. 1. Мікроскоп Роберта Гука.

Левенгук за допомогою мікроскопа замалював сперматозоїди різних найпростіших: «З найбільшим подивом я побачив у краплі безліч звіряток, які жваво рухалися у всіх напрямках, як щука у воді» (1673–1677).

Німецький фізик Ернст Карл Аббе (1840–1905) розробив теорію утворення зображень у мікроскопі (1872) і побудував перший сучасний мікроскоп (1878) (рис. 2), показав обмеженість роздільної здатності оптичного мікроскопа довжиною хвилі.



Рис. 2. Сучасний мікроскоп.

Роздільна відстань оптичного мікроскопа:

$$z = \frac{0,5 \cdot \lambda}{n \cdot \sin \varphi}, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі; n – показник заломлення; φ – апертурний кут.

У 1800 р. Вільгельм Гершель (1738–1822) переміщав чутливий термометр уздовж сонячного спектра і помітив, що його показання змінюються при переміщенні від ультрафіолетового кінця спектра

до червоного, але максимум лежав за червоною частиною спектра. Так було встановлене інфрачервоне випромінювання. Він же відкрив планету Уран (1781).

Німецький фізик Йоган Ріттер (1776–1810) досліджував дію різних ділянок сонячного спектра на хлористе срібло і встановив (1801), що хімічна дія випромінювання зростає від червоного кінця спектра до фіолетового і досягає максимуму за фіолетовою областю, яка не сприймається людським оком. Нове випромінювання, яке присутнє у сонячному спектрі, одержало назву «ультрафіолетового випромінювання».

Знаменитий голландський фізик і математик Християн Гюйгенс (1629–1695) розглядав поширення світла як хвильовий процес. Світло, вважав Гюйгенс, являє собою хвилі в ефірній матерії. Ним був сформульований принцип: «Кожна точка середовища, до якої доходить світлове збудження, стає, у свою чергу, центром вторинних хвиль; поверхня, яка огинає в даний момент часу ці вторинні хвилі, вказує положення до цього часу фронту дії поширюючої хвилі» (рис. 3) [8].

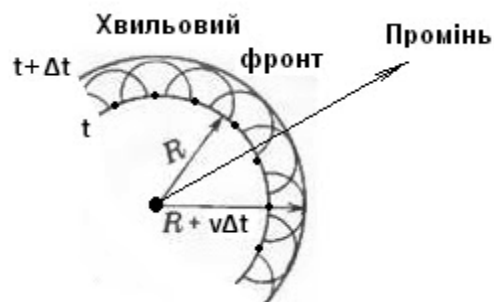


Рис. 3. Принцип Гюйгенса.

Англійський фізик, медик і мовознавець Томас Юнг (1773–1829) був і практикуючим лікарем, і одним із творців хвильової оптики. Він вважав, як і Аристотель, що утворення кольорів пояснюється змішуванням п'єми і світла. Саме він першим дослідив акомодацию ока й один із дефектів зору – дальтонізм (нездатність розрізняти червоний і зелений кольори, а також прочитав, бо займався розшифровкою єгипетських ієрогліфів, ім'я великої Клеопатри на лондонському обеліску з острова Філи, виявленому Дж. Бельзоні.

Він у 1801 р. опублікував відкритий ним принцип інтерференції світла. Юнг пише: «Уявимо собі, що деяка кількість однакових водяних хвиль переміщається по поверхні гладкого озера з деякою постійною швидкістю і попадає у вузький канал, який виходить з озера. Уявім собі також, що під дією іншої причини утворився такий же ряд хвиль, який

також, як і перший, доходить до цього каналу з тією ж швидкістю. Ні один із цих рядів хвиль не зруйнує другого, а їхні дії поєднуються. Якщо вони вступають у канал так, що гребені одного ряду збігаються з гребенями другого, то утворюється ряд хвиль із збільшеними гребенями. Але якщо гребені одного ряду будуть відповідати впадинам другого, то вони в точності заповнять ці впадини і поверхня води залишиться гладкою. Я вважаю, що подібні ефекти мають місце кожного разу, коли подібним чином змішуються дві частини світла. Це явище я називаю загальним законом інтерференції світла» [9].

Принцип інтерференції хвиль Юнг продемонстрував на такому досліді. Сонячне проміння, яке виходило із невеликого отвору у ставні вікна, освічувало екран, у якому кінчиком голки були зроблені два отвори на невеликій відстані одна від одної. За екраном розміщали другий екран, на який падали два світлові конуси, які утворилися за першим екраном. У тому місці, де світлові конуси перекривалися, на другому екрані спостерігалися світлі і темні смуги. Якщо один із отворів закривали, то смуги зникали і на екрані спостерігалася дифракційні кільця від другого отвору. Вимірюючи ширину смуг, Юнг зумів визначити довжини хвиль сонячного спектра. Одним із приладів для спостереження явища інтерференції світла є біпризма Френеля (рис. 4).

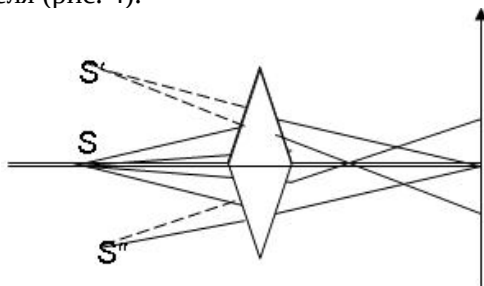


Рис. 4. Хід променів у біпризмі Френеля.

Вона складається з двох однакових скляних призм з малими заломлюючими кутами і загальною основою. Внаслідок заломлення в біпризмі світловий промінь роздвоюється. Світло поширюється так, ніби в точках S' і S'' розміщені два когерентні джерела.

Світло, що іде від джерела S , роздвоюється. Внаслідок заломлення в двох половинах біпризми світло доходить до точок екрана різними шляхами. В ділянці перекриття хвиль спостерігаємо інтерференційну картину.

Оскільки положення інтерференційних смуг залежить від довжини хвилі, то, провівши відповідні вимірювання, можна визначити її довжину.

Умовою спостереження інтерференційного максимуму є кратність оптичної різниці ходу цілому числу довжин хвиль:

$$\delta = \pm n\lambda \quad (n=0; 1; 2\dots) \quad (2)$$

Умовою спостереження інтерференційного мінімуму є кратність різниці ходу непарному числу довжин півхвиль:

$$\delta = \pm(2n + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (n=0; 1; 2\dots) \quad (3)$$

За допомогою спеціальних приладів – інтерферометрів, в основі роботи яких лежить явище інтерференції, з великою точністю визначають довжини хвиль, показники заломлення речовини, якість оптичних поверхонь.

У 1669 р. датчанин Еразм Бартолін (1635–1691), досліджуючи кристали ісландського шпата, відкрив явище подвійного променезаломлення. Він помітив, що коли промінь падає на поверхню шпата, то він роздвоюється, причому напрямком одного із двох променів не підпорядковується закону заломлення Декарта. Також ним було показано, що в кристалі шпата існує такий напрямок, уздовж якого промінь не роздвоюється.

Поляризація світла, у якого вектор напруженості електричного поля \vec{E} не змінює своєї орієнтації у не оптично-активному середовищі, була відкрита у 1678 р. Християном Гюйгенсом. Етьєн Малюс (1775–1812) розробив теорію подвійного променезаломлення світла в кристалах, за що він отримав у 1808 р. премію Паризької академії наук, встановив закон зміни інтенсивності поляризованого світла і у 1808 р. відкрив явище поляризації світла при відбитті і заломленні.

Найчастіше для отримання поляризованого світла використовують явище подвійного променезаломлення. В 1820 р. В. Ніколь винайшов прилад для отримання лінійно поляризованого світла (призма Ніколя, у якій відбувається роздвоєння світла на два промені (звичайний і незвичайний), що йдуть у різних напрямках (рис. 5). Промені внаслідок анізотропії кристалів поширюються з різними швидкостями.

Для отримання поляризованого світла необхідно розвести звичайний і незвичайний промені на певний кут. Це досягається в призмі Ніколя, що являє собою 4-гранну призму, яка складається із двох 3-гранних призм, виготовлених із монокристалів ісландського шпату і склеєних канадським бальзамом. Природне світло, падаючи на грань AB призми з ісландського шпату, зазнає подвійного промене-

заломлення, утворюються звичайний і незвичайний промені, які падають на грань AC – межу двох середовищ: ісландського шпату і канадського бальзаму, речовини з меншим показником заломлення, ніж в ісландського шпату; крім того, кут падіння звичайного променя більший, ніж у незвичайного, і більший від граничного кута повного внутрішнього відбивання для ісландського шпату. Оскільки кут падіння незвичайного променя на грань AC менший від граничного кута повного внутрішнього відбивання, промінь проходить шар канадського бальзаму і, заломлюючись у призмі ACD , виходить повністю поляризованим. Звичайний промінь зазнає повного внутрішнього відбивання, попадає на грань BC і там поглинається чорною фарбою, що її покриває.

При проходженні поляризованого світла через певні середовища площина коливань вектора \vec{E} повертається на деякий кут φ . Величина кута повороту φ площини поляризації пропорційна довжині ходу променя у речовині, а для розчину – ще й від

концентрації оптично-активної речовини у розчині, а також залежить від роду речовини і довжини хвилі світла (рис. 6). Ця залежність виражається формулою:

$$\varphi = \alpha l C, \quad (4)$$

де φ – кут повороту площини поляризації, l – довжина ходу променя в розчині, C – концентрація речовини в розчині, α – питоме обертання, що характеризує кут повороту площини поляризації світла певної довжини хвилі на одиницю відстані, пройдені світлом у даному розчині. Величина α залежить від роду розчиненої речовини, від вибору розчинника і обернено пропорційна квадрату довжини хвилі (закон Біо):

$$\alpha = \frac{b}{\lambda^2}. \quad (5)$$

Ця залежність використовується для дослідження структури білків та нуклеїнових кислот, оскільки значна кількість біомолекул містить оптично активні центри.

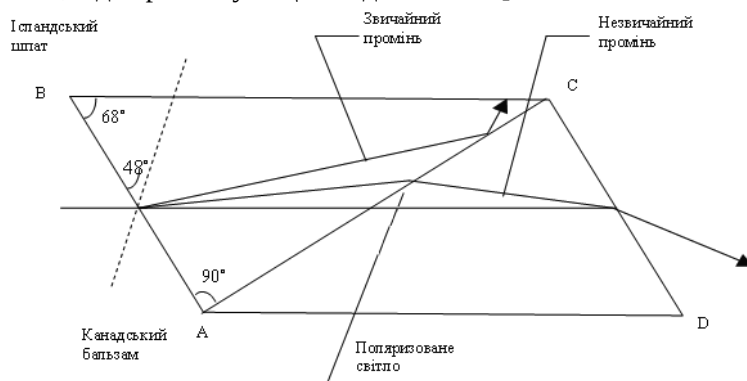


Рис. 5. Хід променів у призмі Ніколя.

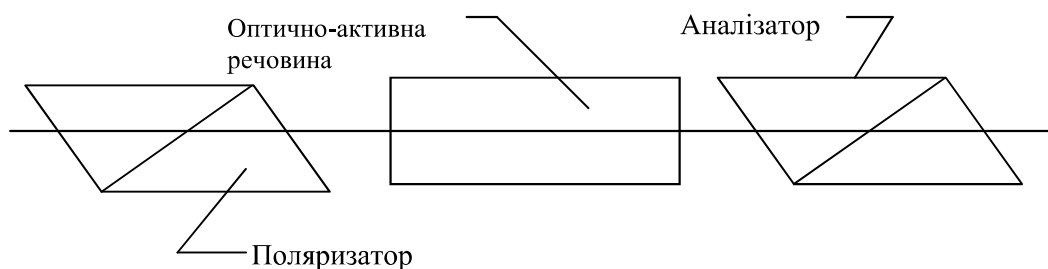


Рис. 6. Схема найпростішого поляриметра.

Поляризоване світло застосовують і для підвищення якості зображень тканин ока. Дослідження інтерференційних картин дозволяє встановити місце прикріплення екстраокулярних м'язів до склери і стан м'язового балансу, що дозволяє обрати тактику лікування хворих на косоокість [5].

На явищі інтерференції базується метод запису та відтворення об'ємного зображення – голографія.

Метод отримання об'ємних зображень (голографія) відкрив у 1947 р. Денніс Габор (рис. 7).

На відміну від фотознімка, який фіксує лише інтенсивність світла і створює плоске зображення об'єкта, голографія реєструє хвильовий фронт світлового променя і створює тривимірне зображення предмета. Лише через 23 роки після публікації своїх перших праць Габор отримав Нобелівську премію з фізики.

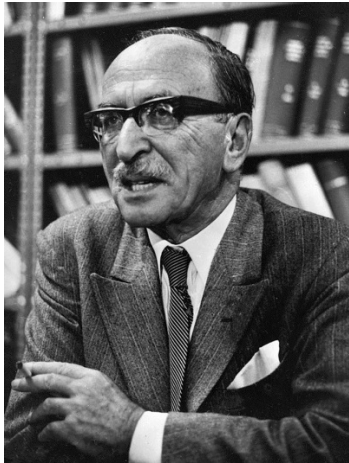


Рис. 7. Денніс Габор.

Для отримання голографічного зображення пучок випромінювання лазера за допомогою лінз поділяється на дві частини (а). Одна частина за допомогою дзеркала спрямовується на фотопластинку Г. Це так званий опорний пучок. Друга частина – сигнальний пучок спрямовується на предмет. Хвиля, відбита або розсіяна предметом, падає на фотопластинку, і на її поверхні відбувається інтерференція відбитої хвилі з опорним пучком. Інтерференційна картина, утворена на фотопластинці, становить голограму. При падінні на голограму опорного пучка відновлюється зображення предмета (б). Голограму, отриману в ультразвукових хвилях, можна відновити видимим світлом, що дозволяє розглядати внутрішні органи людини і, таким чином, сприятиме діагностиці захворювання (рис. 8) [4].

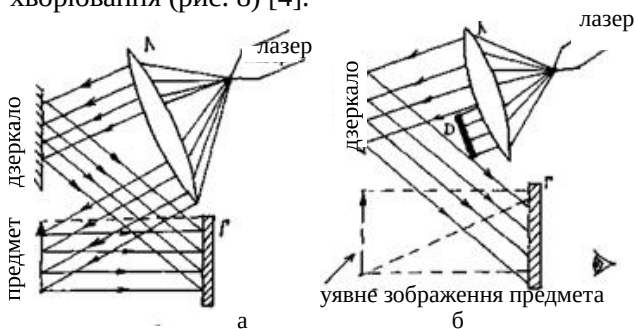


Рис. 8. Принцип утворення та відтворення голографічного зображення.

Вперше повне відбивання світла на межі двох середовищ дослідив французький учений Огюстен Френель (1788–1827). Було доведено, що граничний кут відбивання визначається формулою:

$$\alpha_{сп} = \arcsin(n_1/n_2). \quad (6)$$

Якщо світло переходить з речовини, абсолютний показник якого $n_1=n$, у повітря, де $n_2=1$, то умова повного внутрішнього відбивання набере вигляду:

$$\sin \alpha_{сп} = \frac{1}{n}. \quad (7)$$

Для діаманта граничний кут рівний 24° . Внаслідок цього при правильній його огранці більша частина світла, що падає на нього з усіх боків, повністю відбивається і виходить з верхньої грані діаманта. Тому-то діамант так сяє.

На основі закону повного внутрішнього відбивання створені світловоди, які виготовлені зі скла, кварцу або пластмаси, можуть бути використані для направленої передачі (каналізації) світла. Якщо серцевина такої нитки (світловоду) має показник заломлення n_1 більший, ніж показник заломлення зовнішньої оболонки n_2 , відбувається повне відбивання променів, що поширюються під кутами, достатньо малими відносно осі нитки (рис. 9).

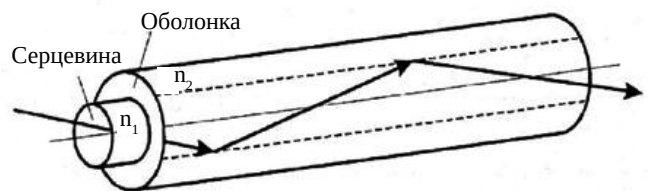


Рис. 9. Принцип дії світловоду.

Комбінація двох світловодів утворює *фіброскоп* – один світловід використовують для освітлення об'єкта, а інший – для передачі зображення цього об'єкта (рис. 10).

Найважливішим прикладом застосування світловодів є їх використання в ендоскопах (трубках для огляду внутрішніх поверхонь шлунка, кишечника тощо). Типовий ендоскоп має довжину 1 м, діаметр 1 см. До ендоскопів можна прикріпити візуальний пристрій, за допомогою якого можна реєструвати рухомі зображення.

Французький фізик П'єр Бугер (1698–1758) досліджував зменшення інтенсивності світла, направляючи під однаковим кутом світло від свічки на два дзеркала, і спостерігав одне зображення безпосередньо, а друге після ще одного відбиття від третього дзеркала. Свічка змицалася до того часу, доки інтенсивність обох зображень не стала однаковою. За допомогою такого устаткування та інших Бугер досліджував зміну інтенсивності світла при проходженні через різні середовища [1].

Інтенсивність світла dI , поглинутого шаром речовини, пропорційна інтенсивності падаючого на нього світла і кількості атомів (молекул), що знаходяться в цьому шарі, яка пропорційна товщині шару dx :

$$dI = -\chi_\lambda \cdot I dx. \quad (8)$$

Звідси:

$$I_\alpha = I_0 e^{-\chi_\lambda d}. \quad (9)$$

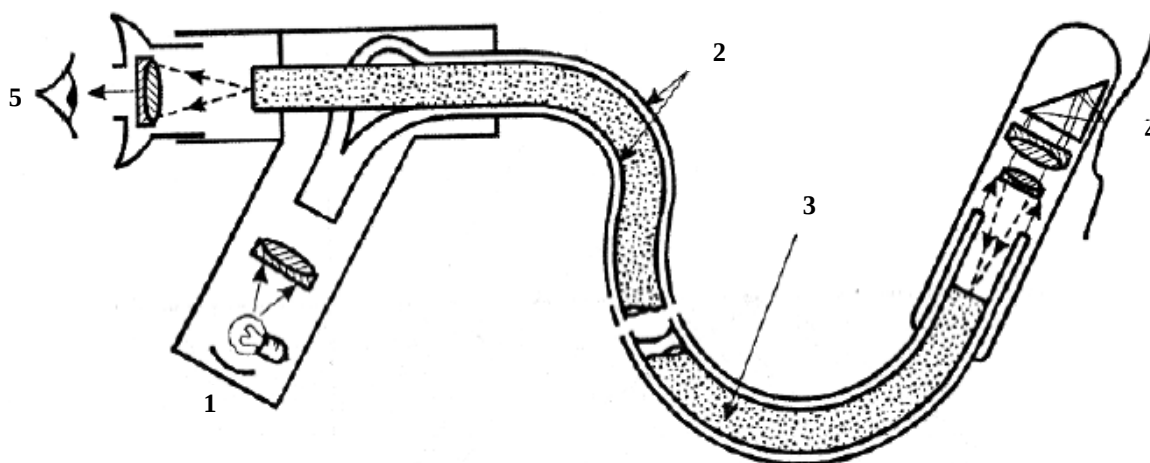


Рис. 10. Фіброскоп:

1 – джерело світла; 2 – зовнішній світловід, що забезпечує освітлення об’єкта; 3 – внутрішній світловід, призначений для передачі світлової інформації спостерігачу; 4 – об’єкт; 5 – око спостерігача.

Рівняння (9) називають законом Бугера, який показує, що інтенсивність світла при проходженні через речовину зменшується з товщиною за експоненціальним законом.

Бугер є винахідником фотометра (1740), який являв собою екран, на який проектувалися тіні від двох металевих стержнів, які створювали порівнювальні джерела світла. Пізніше цей прилад удосконалив Румфорд (1795).

Бер встановив, що для забарвлених прозорих розчинів монохроматичний показник поглинання пропорційний концентрації речовини, тобто:

$$x_{\lambda} = \alpha \cdot C, \quad (10)$$

де α – показник поглинання світла; C – концентрація.

Із записаних співвідношень слідує закон Бугера – Бера:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\alpha C \cdot d} \quad (11)$$

Відношення $\frac{I_d}{I_0} = \tau$ називають коефіцієнтом пропускання чи прозорістю розчину, а величину

$D = \lg \frac{I_0}{I_d} = -\lg \tau$ – оптичною густиною.

Якщо два розчини однієї речовини з концентраціями C_1 і C_2 і товщинами шарів відповідно d_1 і d_2 поглинають світло однаково, то їхні оптичні густини рівні ($D_1 = D_2$).

З формули (11) випливає, що

$$C_1 d_1 = C_2 d_2. \quad (12)$$

Це співвідношення лежить в основі концентраційної колориметрії. Для визначення концентрації розчину використовують фотоелектроколориметр, у якому один фотоелемент освітлюють променями,

що пройшли через розчин, а інший – променями, які пройшли через розчинник, і за різницею двох фотострумів визначають концентрацію розчину.

Родоначальником спектроскопії слід вважати геніального англійського фізика Ісаака Ньютона (1643–1727), який у 1666 р. за допомогою тригранної скляної призми розклав біле світло на сім кольорів (явище дисперсії) (рис. 11).

Цей дослід показав, що промені, які відрізняють-

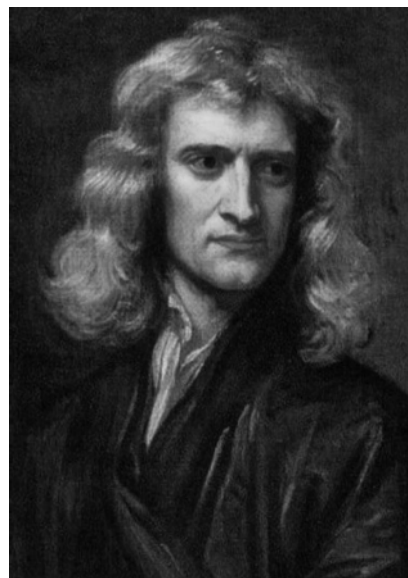


Рис. 11. Ісаак Ньютон.

ся за кольором, відрізняються і за ступенем заломлювальності.

У своїх лекціях з оптики Ньютон писав: «Я знайшов що промені, різно заломлюючі, дають різні кольори, найбільш заломлюючий – пурпуровий чи фіолетовий колір, а найменш заломлюючі – червоний, середні – зелень чи, краще, межі зеленого і

зеленувато-синього, синій знаходиться між пурпуровим і зеленню, жовтий між зеленню і червоним. Тому промені, заломлюючи все більше і більше, розташовуються у такому порядку: червоний, жовтий, зелений, синій і фіолетовий». «Я також знайшов, що першопочаткові кольори при змішуванні променів одного з іншим можуть проявляти суміжні кольори; так, зелений – із жовтого і синього, жовтий – із сумісних зеленого і лимонного, а також із інших» [2].

Фраунгофер спостерігав (1815) і перший дослідив темні лінії в сонячному спектрі і виміряв їхню довжину хвилі. Фраунгофер вперше застосував дифракційні ґратки для дослідження спектрів. Кірхгоф і Роберт Бунзен (1811–1899) зробили відкриття: темні фраунгоферові лінії у сонячному спектрі збігаються із лініями відомих газів і парів. Таким чином було доведено, що матерія зовні нашої планети містить такі ж хімічні елементи, що і Земля.

Спектроскоп Йозефа Фраунгофера (1787–1826) складався із коліматора, призми і зорової труби.

Фоке Тальбольт (1800–1871) виявив, що коли у спектрі полум'я з'являються будь-які лінії, то вони характеризують метал, який міститься у полум'ї.

Створена Робертом Бунзеном горілка давала високотемпературне несвітне полум'я, що дозволило переводити у пароподібний стан різні хімічні елементи і спостерігати за допомогою спектрофотометра їхні спектри.

Випромінювання від лампи – 7 і лампи – 4 падає на напівпрозоре дзеркало – 6 і проходить через поглинаючий шар атомної пари в аналізаторі – 5. Далі воно спрямовується системою дзеркал – 3 на монохроматор (дифракційні ґратки – 2) і надходить на фотоелектронний підсилювач, який підсилює сигнали і перетворює їх у тривалість за лінійним або логарифмічним законом залежно від вибраної шкали: світлопропускання чи оптична щільність (рис. 12).

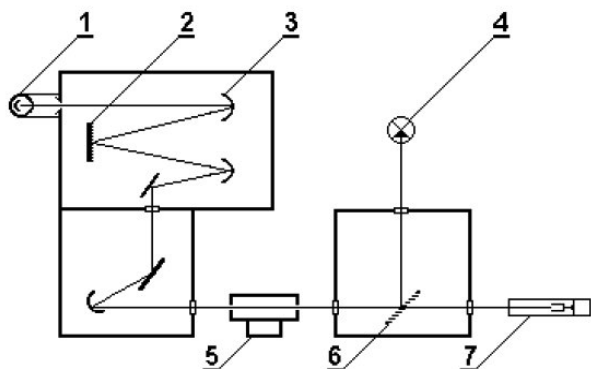


Рис. 12. Блок-схема спектрофотометра.

Винахідником першого у світі патенту на спосіб поліпшення якості оптичних приладів, що отримав назву «просвітлення оптики», був український фізик Олександр Смакула (9.09.1900 – 17.05.1983), який народився в селі Добриводи Збараського району на Тернопільщині (рис. 13). З відзнакою закінчив (1922) Українську гімназію у м. Тернополі. У 1918–1920 рр. був у лавах Української повстанської армії, яка виборювала незалежність України. Вищу освіту здобув у Геттінгенському університеті (Німеччина). У грудні 1927 р. здобув ступінь доктора філософії. У 1928–1929 рр. працював в Одеському університеті, відтак науковим співробітником при Геттінгенському університеті, керівником оптичної лабораторії Інституту медичних дослідів у Гайдельберзі, а в 1934 р. – дослідної лабораторії фірми Carl Zeiss (Єна). У 1930 р. О. Смакула був обраний дійсним членом Наукового товариства імені Шевченка у Львові. З 1946 р. працював у США, де в Массачусетському технологічному інституті обіймав посаду професора фізики, заснував лабораторію фізики кристалів і був першим її директором.



Рис. 13. Олександр Смакула.

Суть винаходу О. Смакули полягає в тому, що поверхні лінз оптичних пристроїв (фотоапаратів, біноклів, далекомірів, мікроскопів, перископів, телескопів та ін.) покривають спеціальним тонким шаром певного матеріалу, що значно зменшує відбивання світла від поверхні лінзи і набагато збільшує контрастність зображення [7]. Гасіння відбитих від різних поверхонь світлових променів відбувається тоді, коли амплітуди хвиль однакові, а різниця фаз хвиль дорівнює π , що відповідає їх різниці ходу $\frac{\lambda}{2}$. Амплітуди хвиль будуть однаковими при виконанні рівності $n_{nl} = \sqrt{n_{ck}}$, де n_{nl} – показник заломлення прозорої металевої плівки, n_{ck} – показник заломлення скляної поверхні.

Різниця фаз хвиль дорівнюватиме π , якщо оптична товщина плівки буде задовольняти умову:

$$n_{nl} \cdot d_{nl} = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad k=0,1,2,\dots \quad (13).$$

О. Смакула є автором понад 100 наукових праць. Помер учений у місті Обурн, штат Массачусетс, США.

Браховуючи визначні заслуги Олександра Смакули у розвитку науки ХХ століття, рішенням 30-ї сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО 2000 рік був оголошений роком О. Смакули.

Список літератури

1. Бугер П. Оптический трактат о градации света / П. Бугер. – Изд. Академии наук СССР, 1950. – С. 189.
2. Вавилов С. И. Исаак Ньютон / С. И. Вавилов. – М. : Изд. Акад. наук СССР, 1961. – 31 с.
3. Дідух В. Д. Історія медичної фізики / В. Д. Дідух, Л. В. Наумова. – Тернопіль : Медобори, 2019. – С. 66.
4. Интернет помощник [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://helpiks.org/12-88359.html>.
5. Кочина М. Л. Результаты использования поляризованного света для исследования глаза / М. Л. Кочина,

References

1. Pyer Buger (1950). *Opticheskiy traktat o gradatsii sveta [Optical treatise about the gradation of light]*. USSR: Academy of Sciences [in Russian].
2. Vavilov, S.I. (1961). *Isaak Nyuton [Isaac Newton]*. USSR: Academy of Sciences [in Russian].
3. Didukh, V. (2017). *Medychna fizyka, stanovlennia ta rozvytok [Medical physics, formation and development]*. Ternopil: Medknyha [in Ukrainian].
4. Sait zhurnalu "Internet pomoshchnik" [Magazine website "Internet assistant"]. Retrieved from: <https://helpiks.org/12-88359.html> [in Russian].
5. Kochyna, M.L., Kaplan, I.V., & Kovtun, N.M. (2014). Rezultaty ispolzovaniya polyarizovanogo sveta dlya issle-

Висновки та перспективи подальших досліджень. У даній праці розглянуто історичні шляхи вчення про зір, етапи розвитку геометричної і хвильової оптики, фізичну природу оптичних явищ, оптичні методи дослідження медико-біологічних систем. Відзначимо, що випромінювання і поглинання світла розглядалися як неперервні процеси, проте в області коротких довжин хвиль спостерігалася невідповідність між існуючими теоріями і фізики заговорили про так звану «ультрафіолетову катастрофу». Тому необхідна була теорія, яка усувала б відповідні суперечності. Але про це вже буде сказано у наступній публікації.

- И. В. Каплин, Н. М. Ковтун // Вісник проблем біології і медицини. – 2014. – Вип. 4, т. 1 (113). – С. 139–145.
6. Сенека Луцій Анней. Діалоги / Луцій Анней Сенека ; пер. з лат. А. Содомори. – Львів : Априорі, 2016. – С. 31.
7. Смакула О. Наукові праці / О. Смакула. – Тернопіль, 2000. – Т. 1. – С. 114.
8. Спасский Б. И. История физики / Б. И. Спасский. – М. : Высшая школа 1977. – Ч. I. – С. 125.
9. Спасский Б. И. История физики / Б. И. Спасский. – М. : Высшая школа 1977. – Ч. I. – С. 250.

- dovaniya glaza [Results of use of polarized light to study the eye]. *Visnyk problem biolohii i medytsyny – Herald of Biology and Medicine* [in Ukrainian].
6. Lutsii Annei Seneka (2016). *Dialohy (pereklav z latynskoi Andrii Sodomora) [Dialogues (translated by Latin Andrew Sodomor)]*. Lviv: Vydavnytstvo „Apriori” [in Ukrainian].
7. Oleksander Smakula. (2000). *Naukovi pratsi. [Scientific works]*. Ternopil [in Ukrainian].
8. Spasskiy, B.I. (1977). *Istoriya fiziki [History of physics]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
9. Spasskiy, B.I. (1977). *Istoriya fiziki [History of physics]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].

Отримано 17.01.19
Рекомендовано 28.01.19

Електронна адреса для листування: horkunenkoab@tdmu.edu.ua