

Ролята на оптиката в развитието на човешкото познание*

Иван Лалов

Софийски Университет Св. Климент Охридски,
Физически факултет, София 1164, бул. Джеймс Баучър 5

Абстракт. Този доклад илюстрира сложния път на науката, поспециално, на оптиката. Дискутирани са главните наблюдения, догадки, експерименти, изграждането на цялостни теории, преодоляването на предубеждения, както революциите в мисленето, довели до съвременното разбиране за светлина.

УВОД

Светлината е важен фактор в нашия живот. Тя пренася енергия, необходима за нашето съществуване. В спектъра на пропускане на земната атмосфера има “прозорче” за видимата част на спектъра на излъчване на Слънцето, докато съседните честотни области – на ултравиолетовите и инфрачервените лъчи се пропускат от атмосферата много по-слабо или въобще не се пропускат. До откриването на атомната енергия Слънчевата радиация е почти единствен източник за човека – енергията на прякото слънчево лъчение или преработената от растения и животни енергия на Слънцето (под формата на дърва, каменни въглища и др.). Именно във видимата област при дължина на вълната $\lambda = 170 \text{ nm}$ е максимумът на излъчването на Слънцето, като абсолютно черно тяло с температура около 6500 К.

Светлината е носител на информация. Чрез зрението ние получаваме около 90-95 процента от цялата информация за заобикалящия ни свят, придобита от нашите пет сетива. Зрителният рецептор – окото – възниква при еволюцията поради наличието на слънчева светлина, която осветява предметите около нас, и поради подходящите честоти на видимата светлина.

Светлината е носител на красота. Несравними с нищо са цветните природни картини на зелените полета, синьото небе, бялата пустош на планината, на небесната дъга и залеза. Също толкова красиви са картините, създадени от фантазията на художниците и майсторите.

* Доклад, представен на XLIII Конференция по въпросите на обучението по физика, 2–5 април 2015, Благоевград

Тази важна роля на светлината е оценена от древни времена от човека, а според самото начало на Библията – и от Бог (“И Господ видя, че светлината е добро нещо и рече “Да бъде светлина”). Човечеството вижда в светлината, този антипод на тъмнината, залог и за своето духовно издигане. Затова още от древността възниква науката за светлината – оптиката, която е важен дял на физиката, а засяга и другите природни науки – химията и биологията.

Истинското научно начало на модерната физика и оптика поставя Възраждането (17-ти век). Оптиката заема особено място в историята на физиката. Докато основните идеи на всеки от разделите на физиката достигат до равнището на завършени теоретични концепции за около един век (17-ти век за механиката, 19-ти век за термодинамиката и електродинамиката, 20-ти век за квантовата физика), оптиката се развива през цялото време от епохата на Галилей-Нютон-Хюйгенс до лазерите на 20-ти век. В оптиката се извършват научни революции и се зараждат принципно нови научни идеи, като квантовата теория. За революциите в оптиката и за нейното място в историята на физиката съм правил доклади на предишни научни форуми. В настоящия доклад, произнасян в Международната година на светлината и светлинните технологии, ще се постарая да обърна нашето внимание върху ролята на оптиката в развитието на цялото човешко познание (естествено, чрез историята на идеите във физиката). Основно внимание ще обърнем на взаимната връзка между изследванията в една научна област като учението за светлината и философията на естествознанието.

НАЧАЛНИЯТ ПЪТ НА ПОЗНАНИЕТО

В оптиката се моделира този път. Най-напред е любопитството към природните явления и техните характеристики. Праволинейното разпространение на светлината, слънчевата светлина, цветовете в природата, отражението и пречупването на светлината, небесната дъга и северното сияние са интригуващи феномени, които ни предизвикват да ги наблюдаваме, да ги опишем и да се опитаме да ги обясним. Почти веднага се проявява и практическият интерес от тяхното използване. В оптиката това е проблемът за източниците на светлина, за приложенията на различните типове огледала, за различните оптични инструменти, от които най-прости са очилата (от около 12-ти век).

Любопитството и практическият интерес са началните движещи сили на познанието. Следващата крачка представлява систематичното изучаване на закономерностите при явленията. Още във II-ри век Птолемей съставя таблици за зависимостта между ъглите на падане и пречупване

на границата въздух-вода. Натрупването на знания и умения позволяват в края на 16-ти век да се конструират далекогледни тръби, микроскоп, а в началото на 17-век чрез телескопа на Галилей човечеството отправя поглед към звездното небе и Галактиката.

Развитието по-нататък надмогва феноменологията, като се формулират теоретични модели (хипотези) за същността на светлината и за оптичните явления.

ДВАТА СВЯТА НА ПРИРОДНИТЕ НАУКИ

Седемнадесети век е критичен и бурен в развитието на оптиката. От една страна, създават се и се усъвършенстват оптичните уреди и методи и това позволява да се открият множество нови явления: интерференцията (Бойл, Хук и Нютоновите пръстени), дифракцията (т.е. навлизането на светлината в геометричната сянка, Грималди), дисперсията на светлината (изучена от Нютон при опитите с призма), двойното пречупване в кристали (Бартолинус) и поляризацията на светлината (Хюйгенс). Натрупаните експериментални факти не могат да бъдат разбрани и систематизирани без съответния теоретичен модел за същността на светлината и произтичащите от него обяснения на светлинните явления. Така в оптиката, почти едновременно с механиката, възникват двата свята на природните науки: единият – светът на явленията и феноменологичните закономерности – и вторият – светът на идеите, моделите, теоретичните обобщения, закони и предсказания. Според Поанкаре тези два свята са и логически, и фактически отделени, като всеки е относително завършен. Но двата свята се намират в непрекъснат контакт и взаимодействие, от което зависи нивото на съответната природна наука.

В оптиката чисто умозрителни схващания за същността на светлината развива знаменитият френски философ Р. Декарт. Той я разглежда като проява на въведените от него “вихри на тънката материя” които са начална проява на хипотетичните флуиди, просъществували в картината на механистичната физика до края на 19-ти век. Философът Декарт остро критикува физика Галилей за стремежа на последния да опише явленията вместо да търси тяхната причина. А всъщност причините могат да се търсят в рамките на последователно развити теоретични модели, които от своя страна имат научна стойност само, ако се основават на сериозни експериментални данни. Между Галилей и Декарт има спор и дали скоростта на светлината е крайна или тя се разпространява мигновено. Здравата интуиция на Галилей му подсказва, че всяко взаимодействие се разпространява с крайна скорост и той прави неуспешен опит да измери скоростта на светлината. За първи път това успява да направи

през 1675 г. датският астроном О. Рьомер по затъмненията на спътниците на Юпитер (открити от Галилей). Не може да се твърди, че Декарт е последователен в твърденията за безкрайната скорост на светлината. Той извежда закона за пречупването (на синусите), открит преди това експериментално от Снелиус, от предположението, че тангенциалната към граничната повърхнина компонента на скоростта е крайна и една и съща в двете среди (което е вярно!). Декарт има и блестяща теория за възникването на небесната дъга при пречупване и отражение на светлината в дъждовните капки.

През последната четвърт на 17-ти век почти едновременно възникват двете теории за същността на светлината: 1) корпускулярната – с автор Нютон. Според нея светлината е поток от частици, които в хомогенни среди се разпространяват праволинейно (като куршуми) и 2) вълновата – с основен създател холандецът Хр. Хюйгенс, според която светлината представлява вълна. Нито едната от двете теории не може да обясни всички известни по това време експерименти. Но “очевидният” според мнозина факт, че светлината е поток от частици, които се разпространяват по права линия, както и авторитетът на Нютон, правят по-приемлива (до началото на 19-ти век) корпускулярната теория. Почти всички разбират, че тя не може да обясни дифракцията и интерференцията (Нютоновите пръстени). Те могат да се разберат на базата на вълновата теория, но Хюйгенс не достига до тяхното доста сложно обяснение, което след повече от век правят Юнг и Френел. Вместо авторите на вълновата теория (Хюйгенс, Хук) самият Нютон достига до извода, че интерференчните пръстени са свързани с периодичност при разпространение на частиците на светлината – корпускулите, а по-късно при анализ на явленията на поляризация на светлината изказва хипотезата, че в равнината перпендикулярна на посоката на светлината корпускулите имат нееднакви свойства. Тънкият анализ на експерименталните факти и гениалната интуиция на Нютон му позволяват да изкаже хипотезата за светлината едновременно като корпускула и вълна (с периодичност при разпространението) повече от два века преди квантовата теория на светлината.

Историята на оптиката през 17-ти век е показателна за развитие на човешкото познание, освен с необходимостта от хармония при изследвания на явленията и на техните теоретични аналози, и в следните пунктове:

- 1) необходим е анализ на “очевидните” факти подобни на праволинейното разпространение на светлината, които могат да се окажат подвеждащи;

- 2) неизбежна е ролята на авторитетите на учени като Нютон, но никой не е изразител на единствено правилната гледна точка;
- 3) отново Нютон със своите фини оптични експерименти и с тяхната интерпретация демонстрира дълбокото и без предубеждения разбиране за природните закони, които управляват нашия свят.

НАУЧНИТЕ РЕВОЛЮЦИИ

Научните революции възникват при неизбежна необходимост да се сменни фундамента на научната област или дисциплина. В обществените науки и в самото общество революциите се причиняват от неприемливостта и препятстващата роля на старите концепции и отношения. В природните науки смяната на парадигмата се извършва под натиска на новооткритите експериментални факти и явления, които по никакъв начин не могат да се съвместят с общоприетите научни модели.

През 19-ти и началото на 20-ти век в оптиката се извършват две научни революции, които са модел и пример за революциите във философията на естествознанието.

През първата четвърт на века разбирането за светлината като поток от частици се заменя с концепцията, че светлината е периодична вълна с определена честота и с определена дължина на вълната. По тези две характеристики се различават вълните, които произвеждат усещанията за различни цветове. За вълновата революция най-важни са следните факти:

- а) обяснението на явленията интерференция и дифракция на светлината, непостижимо от корпускулярната теория. Такова обяснение – теоретично и подкрепено от съответните експерименти – намират Т. Юнг и О. Френел. За своеобразен връх – тържество на вълновата теория – може да се смята анекдотичният случай на т. нар. петно на Поасон. При докладване на вълновата теория от Френел пред Френската академия на науките Поасон като очевиден контрааргумент твърди, че според нея в центъра на сянката на кръгъл непрозрачен екран трябва да има светло петно. За всеобща изненада не след дълго Араго наблюдава това петно като доказателство за верността на вълновата теория;
- б) Френел допълва, последователно прилага принципа на Хюйгенс и показва, че светлинните вълни се разпространяват праволинейно макар в съседните на светлинните лъчи области да съществуват дифракционни минимума и максимуми.

Всъщност тази революция е резултат от цялостно развитие на нова научна област – вълновата оптика, която за около двадесет години обяснява всички известни дотогава оптични явления, вкл. и поляризацията на светлината, възможна само при напречни вълни. За характера на светлинните вълни ще говорим накратко в следващите части. През 19-ти век вълновата оптика е част от изгражданата последователно хармонична картина на класическата физика. Но в края на 19-ти и началото на 20-ти век в оптиката се реализира нова още по-неочаквана научна революция.

В продължение на около 40 години учените се стремят да обяснят излъчването на нагрети тела – един проблем пряко свързан с нашето разбиране за строежа на излъчващото тяло и с проблемите на светлинните източници. Прилагат се всички известни дотогава методи на термодинамиката и развиващата се статистическа физика, правят се експериментални изследвания, моделират се идеализирани източници. Още през 1859 г. Кирхоф въвежда понятието “абсолютно черно тяло”, до което най-близък се оказва светлинен източник като Слънцето. Намерени са интегралните характеристики на неговото лъчение, но спектърът на излъчване на абсолютно черно тяло, при това измерен експериментално, се изплъзва от теоретичното обяснение. С голяма неохота учените в края на 19-ти век започват да разбират, че е необходима промяна в модела на самата излъчвана светлина като непрекъснати електромагнитни вълни. Родоначалник на новата научна революция – квантовата – е германският физик М. Планк, който по своя характер съвсем не е революционер, нито е възхитен от научната идея, че светлината се излъчва на порции – кванти – с енергия, пропорционална на честотата на електромагнитното лъчение. Но именно чрез нея се обяснява температурното излъчване, като вероятно тя е единствено решение. Много съществена крачка към квантовата физика прави Айнщайн, който през 1905 г. приема обективното съществуване на квантите (фотоните) и обяснява чрез тях наблюдавания преди това фотоелектричен ефект. Така Нютоновата теория за светлината като поток от частици се оказва правилна. Вярна е и догадката на Нютон, че тяхното разпространение е свързано с определена периодичност, т.е., че при разпространението на светлината тя се проявява като вълна.

Квантовата революция, възникнала в оптиката при обясняване на процесите на излъчване и поглъщане на светлината, променя цялата физика. Едновременно вълнови и корпускуларни свойства проявяват всички частици, не само фотоните. Квантовата революция засяга и свойствата и взаимодействията между атомите в химията, а в значител-

на степен – и биологичните процеси. Нещо повече, новото разбиране за микроsvета променя и философията на естествознанието.

В ТЪРСЕНЕ НА ЕДИННА ГЛЕДНА ТОЧКА

Една от задачите на науката е да се обясняват явленията – обществени или природни – чрез неголям брой закономерности, израз на нашето разбиране за единството на света (и в определен смисъл, на хармонията в устройството на света). Пример за това единство е законът за всеобщото привличане, позволил да се опишат движенията на планетите и звездите и привличането на предметите от Земята. В търсене на подобна обща гледна точка оптиката дава един забележителен прецедент за велико обединение – електромагнитната теория на светлината на Максвел.

В периода 1860-65 г. Максвел обединява и допълва законите за електричеството и магнетизма, като намира общата система от закони, които ги описват – уравненията на Максвел. Тази система е вътрешно непротиворечива и описва известните до него електромагнитни явления. Като продължава по-нататък, той намира решение под формата на вълни, които могат да се разпространяват дори във вакуум. Следвайки логиката на своите разсъждения, Максвел определя и скоростта на хипотетичните електромагнитни вълни, при което използва експерименталните данни от електрически и магнитни измервания. Получената стойност за скоростта на електромагнитните вълни се оказва близка до измерената наскоро преди това скорост на светлината. Максвел смята, че съвпадението на двете скорости не е случайно, а води до хипотезата, че светлината е електромагнитна вълна (1865 г.). Така обединява в единен обект, описван от обща система от закономерности, явленията от три раздела на физиката – електричество, магнетизъм и оптика.

Нито системата от уравнения на Максвел, нито неговата хипотеза за електромагнитния характер на светлината са възприети веднага от общността на учените. За да се утвърдят те във физиката, е било необходимо да се наблюдават генерирани изкуствено е.м.вълни извън видимия диапазон. Това прави около 1887-88 г. вече след смъртта на Максвел, германският физик Х. Херц. От друга страна, необходимо е да се намерят и изследват явления, при които непосредствено се проявяват променливите електрично и магнитно поле на светлината (с характерните честоти на светлинните вълни). Това се постига от холанския учен Х. Лоренц, който през 90-те години на 19-ти век създава класическата електронна теория и описва дисперсията на светлината.

Стремежът да се създаде обща теория на всички взаимодействия има своето идейно начало от работите на Максвел и пронизва цялата съвременна физика.

ОТРИЦАТЕЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ В НАУКАТА

Развитието на оптиката води и до отрицателни резултати с голямо значение за науката. Тук ще дадем два примера.

Първият – това е теорията за етера. Откритието, че светлината има вълнов характер задава пред физиците от 19-ти век въпроса – а какво трепти? Значителните успехи на механиката ги карат да мислят, че всички явления могат да се опишат с механични явления в определени среди. Като се следва традицията още от Декарт, във физиката се въвеждат невидими флуиди, разпрострени навсякъде и дори проникващи в телата. Тези флуиди притежават определени свойства, от които зависят и законите, например, за електричеството, магнетизма и светлината (още през първата половина на 19-ти век е отхвърлена теорията за флуида флогистон (топлород) като носител на топлината). Но дори Максвел, като извършва обединението на електричество, магнетизъм и оптика, говори за трептения на един общ флуид. Въпросът е – какви свойства притежава този флуид, наречен етер, за да се наблюдават известните ни електромагнитни и оптични явления? И как наличието на тази среда влияе върху движенията на телата, например, на планетите и Земята, в нея? Практически очевидно е, че тяхното движение става без триене. От друга страна, напречният характер на е.м.вълни, които би трябвало да представляват механични трептения на етера, е характерен само за твърди тела. Свойствата на твърдо тяло, което не пречи на движенията на телата, трябва да притежава етерът. Постепенно изследванията на светлинните явления в движещи се тела натрупват все повече противоречиви негови качества. На определен етап М. Планк говори за етера като за дете на класическата физика, заченато в мъка. А как физиката се избавя от тази хипотетична среда? С постепенното осъзнаване, че етерът не е необходим като сцена за електромагнитните явления. Вече изтъкнахме, че напречни електромагнитни вълни, вкл. в светлинния диапазон могат да съществуват и в свободно пространство, без електрични заряди и поляризираща се среда.

Какъв е ефектът от този отрицателен резултат – липсата на трептяща среда? Реалният ефект е отхвърлянето на механистичната картина на света, т.е. не е възможно да се сведе физическия свят до явленията в механиката.

Вторият пример е свързан с първия и е наречен от Б. Ръсел “най-важният отрицателен резултат в науката”. Това е опитът на Майкелсън-Морли за измерване на разликата в скоростите на светлината по посока на движението на Земята около Слънцето и в перпендикулярна посока (1887 г.). Ако се приложат законите за събиране на скорости, известни от времето на Галилей-Нютон, би трябвало да получим разлика във времената на разпространение на светлинните лъчи в двете посоки от порядък на 10^{-8} (една стотиленна, колкото е квадратът на отношението на скоростта на Земята около Слънцето и скоростта на светлината). Като се използва чувствителна интерференционна методика, може да се измери тази нищожна разлика във времената. Но опитът на Майкелсън-Морли с достатъчна точност и увереност показва, че в двете посоки светлината изминава еднакви пътища за еднакво време. Следователно, законът за събиране на скорости на Галилей не е в сила при светлината. Необходимо е да се намери нов закон за събиране на скорости (за разпространение на светлината в движещи се тела). Това необходимо следствие от опита на Майкелсън-Морли води до коренна промяна на нашите възгледи за пространството и времето, които се оказват взаимно свързани с т.нар. Лоренцови трансформации. В специалната теория на относителността Айнщайн изразява резултата от опита на Майкелсън-Морли, като въвежда основен постулат, че “скоростта на светлината във всички инерциални отправни системи е една и съща”.

Оптиката на движещите се тела показва колко ценни за науката могат да бъдат отрицателните резултати, които не потвърждават, а отхвърлят нашите очаквания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Този доклад илюстрира сложния път на науката, по-специално, на оптиката. Както и в други научни области, той минава през наблюдения, догадки, експерименти, изграждане на цялостни теории, преодоляване на предубеждения, революции в мисленето.

С примера на оптичните изследвания ние виждаме влиянието на естествознанието върху философията, която по необходимост проявява гъвкавост при осъзнаването и интерпретацията на научните резултати. Всяко философско предубеждение и опити да се поставят в идеологичен калъп сегашните и бъдещите резултати на частните науки (каквато е оптиката) е непродуктивно за тях и дискредитира самата идеология. Примери за такова отрицателно въздействие върху науката могат да се видят в противопоставянето на католическата църква на Коперниковата система, обявена за еретична, а в по-ново време – отричането на генети-

ката и генетиците, уж от позициите на диалектическия материализъм.

Учените от природните науки по-трудно осъзнават ролята на философските принципи и системи за нашето мислене и методика. Като изследваме явленията в природата и обществото, ние трябва да сме възприели парадигмата, че светът е познаваем, че съществуват природни закони, които управляват явленията, че съществува единство и всеобщност в природата. Това са философските предпоставки на специализираните научни изследвания.

Системата на човешкото познание е единна и нейното изграждане на всеки етап и през всяко столетие се нуждае от хармонизиране и усъвършенстване.

The Role of Optics in the Human Knowledge Progress

Ivan Lalov

St. Kliment Ohridski University of Sofia, 5 James Bourchier Blvd., 1164 Sofia

Abstract: The paper illustrates the complex road of science, especially of optics. The key observations, speculations, experiments, theories overcoming long lasting prejudices, as well as the revolutions in the scientific reasoning of light are discussed.