

Истории из историята на науката за светлината

Иван Лалов, Невена Кожухарова

2015 година е обявена от Общото събрание на ООН за Международна година на светлината и светлинните технологии. Международната и националната програма за нейното отбелязване целят да се подобри публичното

разбиране за значението на светлината във всекидневния живот, да се осветли ролята на научните изследвания и да се изгради образователен капацитет за младежи, които да работят в областта на оптиката, да се подобри качеството и ефективността на осветлението. Две от областите на програмите – Светлината в природата и Светлината в изкуството и културата, са насочени да развият естетиката и да създават радост от живота.

В тази статия са изложени интересни моменти от историята на науката за светлината от древността до началото на XX в.

За светлината

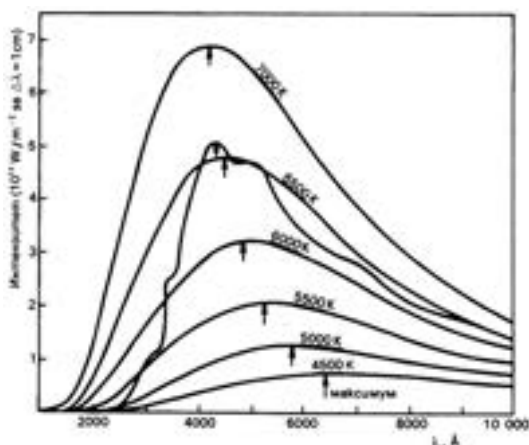
Светлината е важен фактор в нашия живот. През по-голяма част от съществуването на човека до нас достига почти

Науката за светлината – оптиката – се развива от най-дълбока древност и има забележителна роля във физиката, астрономията, биологията, медицината и съвременните технологии. От времената на Галилей, Нютон и Хюйгенс до Планк и Айнщайн в оптиката се раждат научни идеи, които се разпростират в цялата физика.

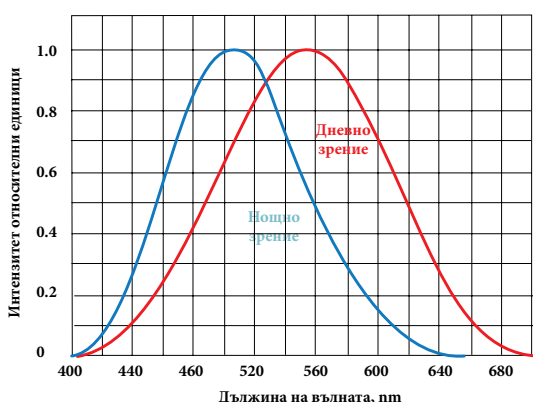
единствено светлината от слънчевата радиация. Максимумът в спектъра на излъчване на Слънцето се намира във видимата част с дължина на вълната $\lambda \approx 470$ nm. В спектъра на пропуска-не на земната атмос-

фера има „прозорче“ за видимата светлина (с дължина на вълната от $\lambda \approx 400$ nm до 780 nm), докато ултравиолетовите и инфрачервените лъчи се поглъщат от атмосферата частично или изобщо не се пропускат. До откриването на атомната енергия слънчевата радиация е почти единствен източник на енергия за човека като пряко слънчево лъчение или преработена от растения и животни енергия на Слънцето (под формата на дърва, каменни въглища, а също – изпарени от Слънцето водни пари).

Поради наличието на видима светлина около животните и човека възниква най-важният рецептор – окото – чрез което ние възприемаме около 90 ~ 95 % от цялата сетивна информация (останалата част се дължи на слуха, обонянието, осезанието и вкуса).



Спектри на излъчване на нагрети тела (начупената крива е реалният спектър на Слънцето)



Спектрална чувствителност на човешкото око, която при дневно осветление има максимум около $\lambda \approx 555$ nm, а при вечерно и нощно осветление този максимум се мести към синята част ($\lambda \approx 510$ nm)

Светлината е носител на красотата. Несравними с нищо са цветните природни картини на зелените полета, синьото небе, небесната дъга, залезът, а също картините на художниците и майсторите.

Важната роля на светлината е оценена от древни времена от човека, а според 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.

В съвременния свят светлината е важна част от нашия живот не само заради осветлението и лазерите, но и заради оптичните комуникации, оптичните методи за диагностика и лечение в медицината, фотографията, холографията и др.

Първа история

Откъде излизат светлинните лъчи?

Това, което най-напред забелязват хората, е праволинейното разпространение на светлината, която създава геометричните сенки, а също и различните цветове на телата. Очевидно е, че ние виждаме или телата, които сами излъчват светлина като Слънцето, или са осветени от такава светлина и я отразяват. Толкова по-интригуващо е, че дълги векове се води спор откъде излизат светлинните лъчи – от самите предмети или от окото, което ги насочва към предмета и после възприема отразените лъчи. Древногръцки философи-питагорейци смятат, че окото представлява върхът на конуса на светлинни лъчи, насочени към предмета, докато философи-атомисти поставят този връх на конуса от светлинни лъчи в самия предмет. Великият геометър Евклид е по-скоро привърженик на първото гледище, макар да излага правилна теория за отражението на светлината и за получаване на образи от плоски и сферични огледала.



Евклид (323–286 г. пр. Хр.)



Арабският учен Алхазен (965–1039)

В програмата на Международната година на светлината е включена и 1000-годишнината от излизането на трактата по оптика от големия арабски учен Алхазен (в арабската фонетика Ибн-Ал-Хайтан). В този трактат категорично се заявява, че „Зрителният образ се получава с помощта на пирамида, върхът на която се намира в окото, а основата – на видимото тяло“. Тази правилна гледна точка се поддържа по-нататък в науката. Но дори Алхазен не се решава да изкаже вярното твърдение, че образът на предметите в окото е реален и обърнат. Той прави успешно наблюдение на подобни образи в т.нар. камера обскура – камера с малък процеп – но обърнат образ в човешкото око му се струва неприемлив. Едва 500 години по-късно великият италианец Леонардо да Винчи, като отбелязва обърнатите образи в „камера обскура“, изказва твърдението: „Същото става и вътре в окото“.

Днес ние сме наясно, че човешкият мозък обработва обърнатите образи и ги „поставя“ в нормалната поза. И това е нещо естествено.

Втора история

Пътят до закона за пречупването (и по-нататък)

Пречупването на светлината на границата на две прозрачни тела (например въздух – вода) е добре известно пак от древността, но

неговите основни закони са по-трудни. Ще припомним формулата за отношението на ъглите на падане α и на пречупване β :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = k,$$

където константата k не зависи от α . Пропорционалността между синусите, а не между самите ъгли, съвсем не е очевидно. Евклид се задоволява само с описание на явлениято пречупване, а авторът на геоцентричната система Птолемей измерва доста точно тази зависимост при различни ъгли α и я представя в табличен вид (за първи път природен закон се представя по този начин). Заслугата за написване на закона за пречупването в горния вид принадлежи на холандеца Снелиус (1621 г.), който го получава при точен анализ на експерименталните данни (емпирично). Теоретичният извод на този закон се прави от знаменития френски философ Р. Декарт (около 1638 г.). Този извод се основава на твърдението, че при пречупване компонентата на скоростта на светлината, тангенциална (допирателна) към граничната повърхност, в двете среди е една и съща. Това твърдение е вярно и според съвременните схващания за светлината.

Затова изводът на Декарт е правилен, а законът се нарича закон на Снелиус – Декарт.



Рене Декарт (1596–1650)



Пиер Ферма (1601–1665)

По същото време – първите десетилетия на XVII в. – работи известният френски математик П. Ферма. Законите на геометричната оптика – за отражение и пречупване на светлината – го заинтригуват и Ферма търси елегантен общ извод на тези закони.

В спор с Декарт той достига до първия вариационен принцип във физиката: светлината се разпространява между две точки за най-кратко време (сега говорим за екстремум на времето на разпространение, който в някои случаи може да е максимум). Не по най-краткия път, а за най-кратко време! Този принцип носи името на Ферма и има значителна роля в самата оптика, като от него се получава и законът на Снелиус – Декарт. Вариационните принципи могат да имат и по-общо значение – те спомагат да се открият мостове между различните области на физиката. Това е допълнителната роля на закона за пречупването.

Трета история

Крайна или безкрайна е скоростта на светлината

По този въпрос се води спор между Декарт и друг велик италианец – Галилео Галилей. Здравата интуиция на Галилей му подсказва, че всеки материален обект се разпространява с крайна скорост. Той прави опит с двама наблюдатели, намиращи се на два съседни хълма, да измери скоростта на светлината, като дори не подозира колко огромна е тази скорост (около 300 хил. km/s) и колко бавни са човешките реакции, сравнени с времето, за което светлината изминава разстоянието между двата хълма. Опитът на Галилей за измерване на скоростта на светлината е неуспешен.

Това като че ли потвърждава твърдението на Декарт, че светлината се разпространява мигновено, т.е. нейната скорост е безкрайна. Това не е пример за последователност на разсъжденията: нали в предишната история ние споменахме, че Декарт извежда закона за пречупването от хипотезата, че тангенциалната компонента на

скоростта на светлината в двете среди е крайна и еднаква. При безкрайна скорост на светлината всяка нейна компонента също е безкрайна (или нула). За да покажем величието на интелекта на Декарт, независимо от заблудението му за безкрайната скорост на светлината, ще споменем за неговото блестящо обяснение на небесната дъга като резултат от пречупването на слънчевата светлина от дъждовните капки



Красива небесна дъга

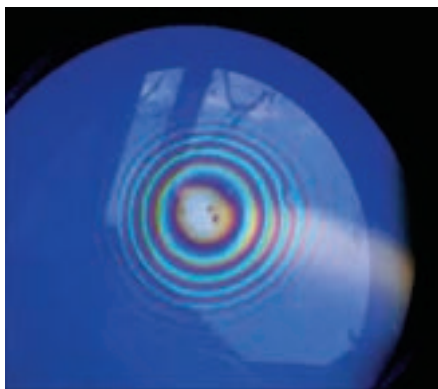
и еднократно (или двукратно) отразяване на слънчевия лъч вътре в капката.

Скоростта на светлината е измерена за първи път от датския астроном Рьомер през 1675 г. по наблюдения на спътниците на Юпитер. Тези наблюдения позволяват да се измери времето, за което светлината изминава разстояние, равно на диаметъра на земната орбита (около 300 млн. km, изминавани за около 1000 сек., оттук с $\approx 300\,000\text{ km/s}$). При земни условия скоростта на светлината е измерена от френските физици Физо и Фуко в средата на XIX в., а много точно – от американския физик Майкелсън и много други след него.

Четвърта история

Дифракцията: светлината навлиза в сянката

През бурния за оптиката XVII в. се раждат двете теории за светлината: светлината като поток от частици – корпускули (кор-



Нютонови пръстени



Исак Нютон (1643–1727)



Франческо Грималди (1618–1663)

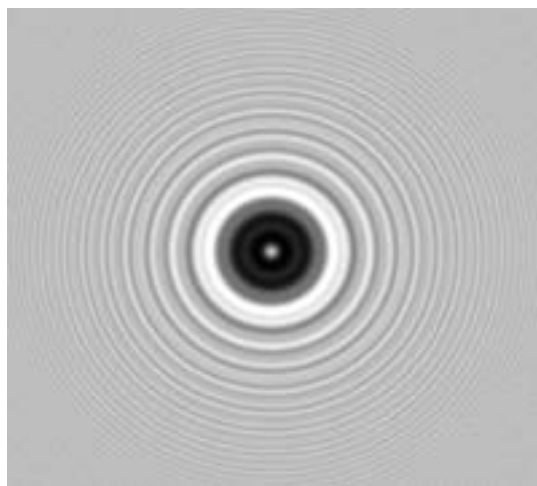
пускулярната теория на Нютон) и светлината като вълна (вълновата теория на Хюйгенс). По същото време се наблюдават редица нови светлинни явления, от които интерференцията, наблюдавана от Хук и Нютон (при т.нар. Нютонови пръстени), и дифракцията, наблюдавана от италианеца Грималди, могат да се обяснят само от вълновата теория.

Грималди осветява предмети със светлинни снопове, ограничени от тънък отвор, и наблюдава, че светлината се отклонява от правилото за праволинейно разпространение. Сянката на предметите, осветени с тънки снопове, е по-широка от геометричната сянка, а в краищата на наблюдаваната сянка се забелязват цветни ивици. Нещо повече, ако тънкият светлинен сноп се насочи към втори екран с тънък отвор, в центъра на геометричната сянка се появява светло петно. Разширяването на сянката на предметите и цветните ивици показват, че светлината се отклонява (дифрактира) от праволинейното разпространение. Грималди обяснява това с разпространението на светлинна вълна зад тънките процепи (както вълната по водна повърхност). Обяснението на Грималди е правилно.

Хипотезата, че светлината представлява вълна с определена периодичност в пространството и времето, се превръща в теория в началото на XIX в. с решаващия принос на англичанина Т. Юнг и на френския инженер О. Френел. Френел изгражда вълновата оптика, чрез която се обясняват всички известни по това време явления, вкл. интерференцията и дифракцията. Той

успява да обясни защо светлинните вълни се разпространяват праволинейно в хомогенни среди (макар около границата на непрозрачен предмет да има дифракционни минимума и максимуми).

Вълновата оптика отбелязва своя триумф при наблюдаването на т.нар. петно на Поасон (1818 г.). Френел докладва пред Френската академия на науките своята вълнова теория и в дискусиите около нея математикът и физик Пиер-Денис Поасон правилно отбелязва, че ако тази теория е вярна, в центъра на сянката на непрозрачен предмет трябва да се наблюдава светло петно. По разбиранията на противниците на вълновата теория и самия Поасон такова светло петно в центъра на сянката противоречи на „здравия разум“. Но скоро Араго действително наблюдава



Петно на Поасон

такова петно, което досега носи името на своя откривател.

Тази история, както обяснението на прavoлинейното разпространение на светлината, показва колко подвеждащ може да се окаже „здравият разум“.

Пета история За етера

За физиците от XVII – XIX в. съществува един вълнуващ въпрос: каква е средата, в която възникват и се разпространяват светлинните вълни? Какво трепти?

Като се следва традицията, завещана от Декарт, светлинните вълни се схващат като механични трептения на една хипотетична среда, която се разпростира навсякъде в Космоса и въздуха и дори навлиза в прозрачните тела (в тях също се разпространяват светлинни лъчи). Тази среда е наречена светлинен етер. А какви свойства трябва да притежава етерът?

От една страна, той не създава триене при движението на планетите и звездите, което би забавяло тяхното въртене. Голямата стойност на скоростта на светлинните вълни е възможна при етер с голяма пързгавина. Най-важен е изводът за напречния характер на светлинните вълни (трептенията във всяка точка са в посока, перпендикулярна на посоката на разпространение). Явлението поляризация на светлината недвусмислено показва, че тези вълни са напречни, за разлика от надлъжните звукови вълни. Но напречни вълни съществуват само в твърди тела, не в течности и газове. Следователно етерът трябва да бъде със свойствата на пързгаво твърдо тяло, което не препятства движението на телата. Наблюдавани са ефекти при разпространение на светлината в движещи се тела, които се обясняват с още по-чудни и дори противоречиви свойства на етера. Как физиците внасят хармония в своите разбирания за светлината като механични трептения на етер?

Много просто – през втората половина на XIX и в началото на XX в. учените разбират, че етерът не е необходим. Британ-

ските учени Фарадей и Максвел развиват последователна теория на електромагнитните явления, които могат да се проявяват и във вакуум. От теорията на електромагнитното поле следва възможността да съществуват напречни електромагнитни вълни. Максвел не ги наблюдава, но със силата на своята теория пресмята тяхната скорост (ако съществуват). Скоростта им се оказва близка до измерената скорост на светлината и това позволява на Максвел да изкаже хипотезата, че светлината е електромагнитна вълна. По-нататъшното развитие на експеримента и теорията блестящо потвърждават тази хипотеза.

И така, светлината не представлява механична вълна в предполагаемия етер, а електромагнитно явление, което може да се проявява и във вакуум. А в природата не е възможно всичко да се сведе до механика.

Шеста история Вълна или частица

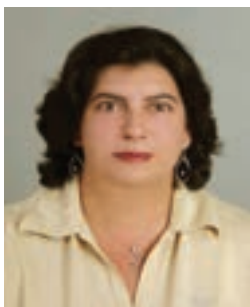
Вече споменахме, че антитезата вълна – частица възниква в оптиката от времето на Нютон и Хюйгенс (последната трети на XVII в). Целият XVIII в. преминава под знака на корпускулярната теория. Забележително е обаче, че именно нейният създател, великият Нютон, отбелязва, че движението на частиците на светлината – корпускулите – е свързано с определена периодичност. Тази периодичност обяснява интерференцията при Нютоновите пръстени. А периодичността е свързана с вълните, т.е. Нютон допуска и вълнови прояви на светлинните корпускули.

През XIX в. – след Юнг, Френел, Максвел – светлината се разглежда като вълна. Но в самото начало на XX в. се разбира, че светлината е и вълна, и частица. И това не е интелектуална приумица или оригиналчине на физиците, а резултат от трезв анализ на светлинните явления, извършен от германските учени М. Планк и А. Айнщайн в периода 1900 – 1905 г.

Интерференцията и дифракцията недвусмислено показват, че светлината е вълна.



Проф. Иван Лалов е доктор на физическите науки, преподавател във Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ (1961 – 2010 г.), професор по физика на електромагнитните явления и оптика, Председател на националната подпрограма „Оптиката и науката за светлината в годината на светлината“.



Невена Кожухарова е преподавател в Техническия университет – София от 2006 г. Завършила е Физическия факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ със специалност „Оптика и спектроскопия“.

Но как се излъчват и поглъщат тези вълни? Как да се обясни спектърът на най-яркия източник – Слънцето? С присъщата на науката методичност около 40 години експери-

ментатори и теоретици търсят отговор на въпроса за излъчването на електромагнитни вълни от нагрятото до 6500 K (градуси по скалата на Целзий, отчитани от абсолютната нула), колкото е температурата на повърхността на Слънцето. Усилията на големи физици да намерят отговор на този въпрос в рамките на вълновата теория за светлината дават известни резултати, но цялата картина на спектъра на излъчване се изплъзва. И тогава М. Планк без особено желание, по научна необходимост, изказва хипотезата: светлинните вълни с честота ν се излъчват само на порции, всяка с енергия:

$$E = h \cdot \nu,$$

където h е константата на Планк. Само при това предположение всичко си идва на мястото – и получените преди това частични резултати, и целият спектър на излъчване на нагрети тела. Тази формула свързва енергията на светлинната частица, наречена фотон, с честотата на наблюдаваната светлинна вълна. Няколко години по-късно Айнщайн обяснява и поглъщането на светлината при явлението фотоефект с поглъщане на фотони с енергия, определена от горната формула.

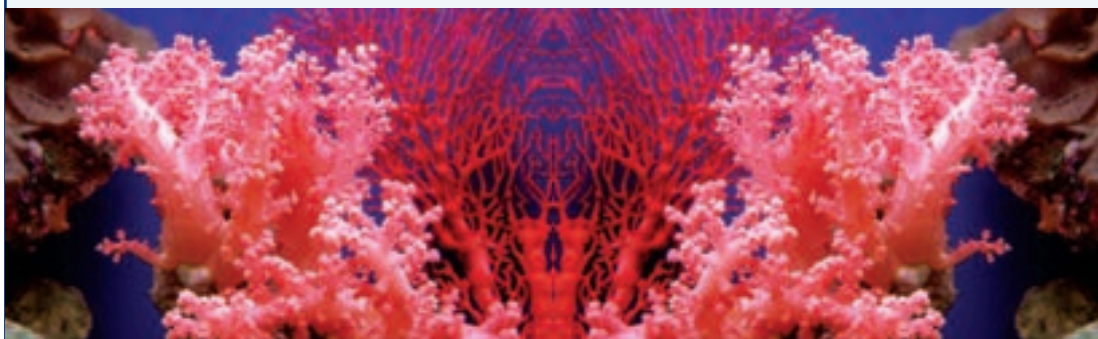
Излъчват се и се поглъщат само цели фотони. При някои процеси и повече от един, но никога части от фотона.

Така в оптиката при изследване на процесите на излъчване и поглъщане на светлинните частици – фотони, наречени още кванти, се ражда квантовата физика.

Двойственият характер вълна – частица се отнася за всички микрообекти в съвременната физика. Идеите на квантовата физика променят химията и, в значителна степен, биологията.

Тези безхитростни истории от историята на оптиката показват сложния път на човешкото познание, съпроводен с много усилия, понякога с движение в неточна посока, но и с намиране на верните отговори, които по-късно променят науката, а чрез нейните приложения – и нашия живот. ■

Пигмент антибиотик отпреди 150 милиона години



Изследователи от университета в Гьотинген, Германия, с ръководител д-р Клаус Волкенщайн (Klaus Wolkenstein) са успели да установят химичния строеж на едно фосилно, червено на цвят вещество, което е продукт от жизнената дейност на червени водорасли. Оказва се, че тези едноклетъчни организми са съществували още в Юрския период и са на възраст около 150 млн. години. Като природно органично съединение изолираното и изследвано вещество се отнася към боролитохромите, съдържа елемента бор и има сложния химичен строеж на поликетид. Сравнявайки структурата на изследваното от тях химично съединение, Клаус Волкенщайн и сътрудници установяват, че тя наподобява молекулярния строеж на един мощен, открит неотдавна антибиотик, наречен кластрубин. Кластрубинът е бил изолиран от бактерии от рода Клостридий и е активен срещу значителен брой резистентни към други антибиотици болестотворни микроорганизми.

Откритието на немските учени е съпроводено с няколко любопитни особености. Преди всичко специалистите обръщат внимание на това, че за да установят химичния строеж на новооткрития боролитохром, Клаус Волкенщайн и сътрудници са разполагали само с нищожно

количество от червения фосилен пигмент – около 50 микрограма. За да се справят със сложната задача за определяне на строежа на веществото, учените са използвали ефективни съвременни методи за изследване като ядреномагнитен резонанс, кръгов дихроизъм и др.

Оказва се, че такива сложни органични съединения като червения боролитохром са съществували още отпреди 150 млн. години и че специфичната им структура е „извървяла“ дълъг път във времето, без да се промени съществено. Виждаме, че „праисторическите“ микроорганизми са имали способността да продуцират вещества, за които днес се знае, че имат антибактериална активност.

Резултатите от изследванията на учените от университета в Гьотинген събудиха оправдан интерес. Те показват, че още преди милиони години на нашата земя са съществували вещества, които имат антибиотични свойства. Тези резултати сочат между другото също, че основните биохимични пътища за синтеза на природни органични вещества в организмите в общи линии са се запазвали дори в течение на милиони години.

По scinexx.de, JACS и др.