

ДВОЈСТВЕНА ПРИРОДА НА СВЕТЛИНАТА

ОРДАН ПЕЧИЈАРЕ

Прашањето за битноста на светлината одамна го интересувало човекот. Животот на земјата неразделно е сврзан со светлината и нејзините благотворни дејства и оттука произлегува оној непрестанен стремеж кај луѓето да проникнат подлабоко во нејзината битност и дознаат нешто поопределено за нејзината природа. Но, иако е светлината, без секакво сомнение, првата радијација што ја забележил човекот и почнал да ја проучува, нејзината природа и до денеска не ни е сосем јасна, при сè што за неа и појавите што се сврзани со неа извонредно многу знаеме.

Испитувањата на многубројните појави сврзани со светлината покажаа, дека нејзината природа е многу посложна отколку што на прв поглед може да се помисли. Но и покрај сложеноста и многубројноста на светлинските појави набљудувањата јасно покажаа, дека телата што зрачат светлина губат од својата енергија, а пак телата што ја опсорбираат светлината си ја зголемуваат својата енергија, на пример се затоплуваат. Овој факт упатуваше на тоа, дека распространувањето на светлината станува со пренесување на енергијата од едно место на просторот во друго.

Ова пренесување на енергијата пак може да се врши било преку честици што ги испушта светлинскиот извор, било преку таласно движење што се шири во просторот околу светлинскиот извор. И така, потпирајќи се на овој утврден факт, во текот на изучувањето на светлинските појави се оформија две различни мненија за природата на светлината, кои кон крајот на XVII век прераснаа во две теории за светлината: *корпускуларна и таласна*. Овие две мненија за природата на светлината, иако дијаметрално различни, со извесни измени се задржани и до денеска скоро со еднаква важност.

Сpreма едното мнение светлината претставува поток на честици, што дисконтинуирано, со прекиди, ги испушта светлинскиот извор во сите правци. Ваква претстава за светлината имал и големиот англиски учен *Исак Њуџон* (1643—1727 год.). На оваа основа тој ја создаде и така наречената *корпускуларна теорија за светлината*. Оваа

теорија при сè што не можеше да даде задоволително објаснување за сите светлински појави дотогаш познати, во прво време, благодарение на големиот Њутонов авторитет, скоро наполно ја потисна таласната претстава за светлината.

Сpreма другото пак мислење, светлинскиот извор испушта енергија *континуирано*. Таа енергија се пренесува низ просторот од честица на честица во вид на таласно движење. Spreма тоа светлината претставува *шаласен процес* во дадена средина. Оваа средина во која се распространуваат светлинските таласи е наречена „етар“. Етарот е замислен како извонредно фина еластична материја со немерливо мала густина, што го исполнува целиот васионски простор, како и меѓумолекуларниот простор на телата,

„Идејата дека меѓу телата не постои апсолутно празен простор и дека дејството од едно тело на друго може да се врши само преку материја, т. е. дека во природата не постојат далекудејствувашти и моментално дејствувашти сили, беше сосем правилна“. Но оваа идеја ја немаше потребната експериментална поткрепа, што ѝ беше и нејзин недостаток.

Spreма таласната теорија, сè до втората половина на XIX век, се сметаше дека светлината се должи на механички осцилации на еластичниот етар, што ги предизвикува во него светлинскиот извор, слично како што звукот се должи на механичките осцилации на воздухот што ги предизвикува во него звучниот извор. За да се објаснат пак трансверзалните светлински осцилации, на етарот му се припишуваше од една страна немерливо мала густина, а од друга страна еластични особини на тврдо тело, што никако не можеше да се доведе во согласност. Ова пак и задаваше на оваа теорија непремостиви мачнотии.

Но после појавувањето на *Максвеловата електромагнетна теорија за светлината* во втората половина на XIX век и нејзините постигнати резултати, вакво мислење за светлинските таласи односно осцилации беше неодржимо. Тие не можеа повеќе да се разгледуваат како прости механички осцилации каде периодски се менуваат еластични сили, т. е. механички, туку како осцилации каде периодски се менува електричната и магнетна јачина на електромагнетното поле.

Континуирана таласна природа ѝ припишуваша на светлината и ја разработуваа таласната теорија за светлината: Холандскиот учен *Христијан Хајгенс* (1629—1695 г.), кој и се зема за творец на таласната теорија за светлината; Францускиот физичар *Френел* (1788—1827 год.), кој експериментално ја докажа интерференцијата на светлината и со тоа извонредно многу допринесе да таласната претстава за светлината скоро наполно ја истисне за извесно време корпуску-

ларната претстава за природата на светлината и нарочно англискиот физичар *Максвел* (1831—1879 год.) со создавањето на електромагнетната теорија за светлината. За оваа теорија извесно време се сметаше дека дефинитивно го има разрешено прашањето за природата на светлината, специјално после експерименталното откривање на електромагнетните таласи (1888 год.) од страна на германскиот физичар *Хајнрих Херц* (1857—1894 год.).

Големото значење на електромагнетната теорија е поред другото и во тоа, што таа го утврди единството на светлинските и електромагнетни појави, кои порано се сметаа како сосем различни, и со тоа даде извонреден доказ за взаимната врска меѓу разните природни појави, што е и основна поставка на дијалектичкиот материјализам.

Извесни светлински појави како што се интерференцијата, дифракцијата и други, можат многу лесно и убаво да се објаснат од гледната точка на ова второ сфаќање, т. е. ако на светлината ѝ се припише таласна природа. Но постоењето на линејните спектри, фотоелектричниот ефект и ред други појави, не можат да бидат објаснети од гледната точка на континуираното излучување на светлината, како што претпоставува таласната теорија. Овие појави пак можат по најпрост начин да се објаснат ако на светлината ѝ се припише дисконтинуиран, корпускуларен карактер, значи како што е случај со материјата и електричеството.

Германскиот физичар *Макс Планк* (1858—1947.) испитувајќи ги причините за несогласноста меѓу теориските и експерименталните резултати до кои се дошло при проучувањето на зрачењето на едно усвитено апсолутно црно тело, 1900 година ја објави *квантната теорија*, која воглавно се сведува на следново:

Испуштањето и апсорбирањето на зрачната енергија, па спрема тоа и на светлината, не станува континуирано, туку дисконтинуирано, во одделни строго определени порции на енергијата, наречени кванти. “За различни радијации квантите имаат разна големина, што зависи од честотата на дотичната радијација. Енергијата на секој квант, односно неговата големина, се изразува со следната формула:

$$\varepsilon = h\nu,$$

каде што е ν честотата на дотичната радијација, а h така наречена *Планкова константа*. Нејзината вредност е:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-27} \text{ ерг. сек.}$$

Со оваа теорија Планк даде решение на проблемот за зрачењето на црните тела. Таа овозможи да светлинските процеси не се разгледуваат како континуирани процеси, туку како скокообразни појави.

Применувајќи ја квантната теорија на светлинските појави современиот физичар *Ајнштајн* даде објаснение на фотоелектричниот ефект, кое објаснение е истовремено и најјасен доказ за дисконтинуираната корпускуларна природа на светлината.

Фотоефектот се состои во испуштањето на електрони од телата, специјално металите, кога тие се зрачат со светлина, рентгенови или гама зраци. При оваа појава е утврдено експериментално, дека кинетичката енергија односно почетната брзина на електроните што ја напуштаат површината на телото што се зрачи со светлина, не зависи од јачината на светлината, туку зависи само од нејзината честота. Ако се намали јачината на светлината не менувајќи ја нејзината честота, што може да се постигне ако се работи со монохроматична светлина, се намалува бројот на електроните што ја напуштаат металната површина, но нивната почетна брзина си останува иста. Менувајќи ја пак честотата се менува и нивната почетна брзина. Оваа појава не може да се објасни ако на светлината ѝ се припише континуирана таласна природа.

Допуштајќи пак дека излучувањето на светлината од светлинскиот извор не се врши континуирано, туку дисконтинуирано, во вид на светлински кванти, Ајнштајн ја даде следната формула за врската меѓу кинетичката енергија на емитираните електрони и енергијата на квантите на радијацијата под чие што дејство станува нивното емитување:

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - E,$$

каде што е E енергијата што треба да се изарци за да електронот се отргне од телото во чии што состав влегува. Таа енергија е карактерна величина за секој вид материја и се вика „*излезна енергија*“.

Од горната формула јасно се гледа зошто почетната брзина на електроните односно нивната кинетичка енергија не зависи од целокупната зрачна енергија што паѓа на површината од која излетуваат електроните, туку зависи само од честотата ν .

Со зголемувањето на интензитетот на светлината, се зголемува само бројот на квантите од кои е таа составена, без да се измени нивната големина, па спрема тоа се зголемува и бројот на електроните што се погодени од кван-

тите и истерани од телото во чии што состав влегуваат, што е во полна согласност со експерименталните факти.

Кинетичката енергија на емитираните електрони, како што гледаме од предодната формула, секогаш е помала од енергијата на квантите за величината E , т. е. излезната енергија. Ако е големината на квантите на дадената радијација помала од излезната енергија E , тогаш нема да настане фотоелектронска емисија т. е. емитирање на електрони од површината на телото што се зрачи. Одовдека произлегува дека постои некоја најмала честота ν_0 , т. е. најмала големина на квантите, што е неминовно нужна за да се добие фотоелектронска емисија од дадената материја. Ако во предодната формула се стави дека $e: \frac{mv^2}{2} = 0$, тогаш таа честота ќе биде дадена со следниот израз:

$$\nu_0 = \frac{E}{h}$$

Ако материјата се зрачи со честота помала од ν_0 , тогаш нема да настане фотоелектронска емисија, па било колку и да е јака светлината со која се врши зрачењето.

Друга особина на фотоефектот што говори за дисконтинуираната корпускуларна природа на светлината е неговата безинерцијалност. Електроните ја напуштаат површината на телото штом на него падне светлина со честота не помала од една определена вредност карактеристична за дадената материја. Оваа безинерцијалност не може да се објасни ако светлината од светлинскиот извор се испушта континуирано, без прекиди, и се пренесува во вид на таласно движење. При оваа претпоставка на еден електрон ќе му треба релативно долго време, дури да ја насобере онаа енергија што му е нужна за да се отргне од телото во чии што состав влегува.

Но безинерцијалноста на фотоефектот токмо го покажува обратното, т. е. дека електронот ја прима енергијата од светлината „згусната“ во вид на строго определени порции на енергијата односно кванти. Од грамадното количество кванти што паѓаат во единица време на телото што се зрачи со соодветна светлина, секој електрон има извесна вероватност да „улови“ еден квант, чија што енергија ќе му овозможи уште истиот момент да го напушти телото во чии што состав влегува. Се разбира дека ова последново ќе се случи ако енергијата на квантите со кои телото се зрачи биде поголема од една гранична вредност карактеристична за материјата што се значи, т. е. не помала од излезната енергија.

Светлинските кванти, кои уште се викаат *фотони*, се движат во празен простор со брзина од 300000 км/сек. Тоа е брзината на светлината. Како и на секоја енергија, така и на енергијата на светлинските кванти, согласно на теоријата на релативитетот, им одговара извесна маса дадена со следната Ајнштајнова формула:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}. \quad (1)$$

Бидејќи пак меѓу масата во мир (m_0) и масата во движење (m) на едно исто тело, согласно теоријата на релативитетот, постои однос:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

каде што е v брзина со која се движи телото, а c брзината на светлината, тоа заместувајќи го v во оваа равенка со брзината со која се движат фотоните, т. е. со брзината на светлината c , добиваме:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{c}{c}\right)^2}} = \frac{m_0}{0}, \quad (2)$$

откаде што следува, дека масата на фотоните треба да биде бесконечно голема. Но тоа е невозможно бидејќи изразот $\frac{h\nu}{c^2}$ (равенката 1), со кој е дадена нивната маса во движење, е конечна величина, па спрема тоа мора да биде $m_0 = 0$, т. е. масата на фотоните во мир е нула.

Од равенките (1) и (2) излегува дека фотонот е честица што не може да постои со брзина различна од брзината на светлината. Кога е истовремено $m_0 = 0$ и $v = c$, тогаш спрема формулата (2) масата (m) може да има различни вредности што и одговара на формулата (1), бидејќи ν за различни радијации има различни вредности.

Фотоните, како што видовме, ги имаат двете основни особини карактеристични за материјата, т. е. имаат маса и енергија. Спрема тоа тие се материјални честици и мораат да бидат привлекувани од земјата односно да имаат своја тежина, како и секоја друга честица. Но брзината на фотоните е извонредно голема, а нивната маса извонредно мала. Поради малата маса и привлечната сила меѓу нив и Земјата

е многу мала за да може ова привлекување да биде констатирано на земјата. При минувањето пак на светлинските зраци, што се испуштани од некоја ѕвезда, покрај Сонцето чија маса е околу милион и триста илјади пати поголема од масата на Земјата, привлечните сили меѓу масата на Сонцето и масата на фотоните се достаточни големи за да предизвикаат забележително искривување на светлинските зраци односно патните линии на фотоните. Ова Ајнштајново предвидување навистина било констатирано при полното замрачување на Сонцето. Се констатирало, дека ѕвездите затцриени од нас со Сонцето можат да бидат видени благодарение на светлинските зраци што минат покрај Сонцето а се емитирани од дотичните ѕвезди.

Масата и енергијата на фотоните, како што видовме, се јавуваат како функција од честотата на радијацијата во чии што состав влегуваат. Sprema тоа познавајќи ја честотата на дотичната радијација ние можеме да ја определеме енергијата и масата на фотоните. Така на пример енергијата на фотоните од видливата светлина, чија што честота во главно е опфатена во границите од $3,9 \cdot 10^{14}$ за црвените зраци, па до $7,58 \cdot 10^{14}$ осцилации во секунда за виолетовите, согласно на формулата $\epsilon = h\nu$, лежи во границите од

$$25,45 \cdot 10^{-18} \text{ до } 49,65 \cdot 10^{-18} \text{ ерга.}$$

Нивната маса пак е опфатена во границите од

$$2,83 \cdot 10^{-28} \text{ до } 5,51 \cdot 10^{-28} \text{ грама.}$$

Значи, енергијата и масата на фотоните од виолетовата светлина е скоро два пати поголема од енергијата и масата на фотоните од црвената светлина, чија што честота приближно два пати е помала од честотата на виолетовата светлина. Фотоните пак на зрачењата со уште поголема честота, како што се ултравиолетовите зраци, рентгеновите зраци и гама зраците на радиоактивните материи, имаат уште поголема енергија односно маса. Енергијата и масата пак на фотоните на зрачењата со помала честота од честотата на видливата светлина, како што се на промер инфрацрвените зраци, е помала од енергијата и масата на фотоните на видливата светлина.

Сравнувајќи ја масата на фотоните со масата на најмалата елементарна честица што влегува во составот на атомите, т. е. со масата на мирувањето на електронот, која е $m = 9,10 \cdot 10^{-28}$ грама, гледаме дека фотоните на видливата светлина имаат приближно двесте и педесет илјади пати помала маса од масата на мирувањето на електроните.

Фотоните на сите наброени зрачења се движат со брзина на светлината. Spreма тоа оние фотони што имаат поголема маса, ќе имаат и поголемо количество на движење, бидејќи количеството на движење на едно тело е дадено со производот од неговата маса и брзина:

$$k = mv.$$

За фотоните $m = \frac{h\nu}{c^2}$, а $v = c$. Заместувајќи ги овие вредности во предодната формула ја добиваме формулата за количеството на движењето на фотоните:

$$k = \frac{h\nu}{c^2} c = \frac{h\nu}{c}.$$

Ова количество на движење тие можат да го предадат на телото во кое удираат. Како ним соодветно тело се јавува електронот, кој што под дејството на добиениот удар од еден фотон може да се оддели од составот на атомот односно молекулот. На овој начин може да се објасни јанизацијата на атомите односно молекулите од страна на разни видови зраци (рентгенови зраци, гама зраци и др.) Од светлинските зраци, во тесен смисол на овој збор, во овој поглед најактивни се ултравиолетните, бидејќи тие имаат релативно голема маса, па спрема тоа и поголемо количество на движење.

Но дури фотоефектот и ред други појави можеа лесно и убаво да се објаснат од гледната точка на квантната теорија, т. е. припишувајќи ѝ на светлината корпускуларна природа, дотука други светлински појави, меѓу кои интерференцијата и дифракцијата не можат да се објаснат ако на светлината не ѝ се припише таласна природа. Spreма тоа светлината при едни појави ни се појавува со дисконтинуирана корпускуларна природа, а при други со континуирана таласна природа. На овој начин прашањето за природата на светлината и понатака останува отворено. Обидите да се создаде една теорија во чии што рамки ќе можат да се опфатат сите познати светлински појави продолжуваат и после успешите што ги постигна квантната теорија.

Сполучив обид во тој правец направи современиот француски физичар *Луј де Броли*, којшто 1924 година ги постави темелите на таканаречената *шаласна механика*. Во рамките на оваа теорија се прави синтеза на двете противположни мненија за светлината, т. е. корпускуларното и таласното. Spreма оваа теорија секоја честица што се движи, па било од каков вид да е, е заобиколена со определени

таласи што се движат заедно со неа без да ја напуштат. Откриената дифракција на електроните даде потврда на оваа теорија, која се покажа многу плодотворна како во теориски, така и во практичен поглед. Согласно на оваа теорија фотоните се нераздвојно здружени со таласи. Тие се специјален вид честици и претставуваат нарочен вид единство на честица и талас. Ваква двојственост е карактеристична за природата на светлината спрема она што го знаеме досега за неа.

Честотата на таласот што го прати фотонот ќе биде спрема Планковата формула:

$$\nu = \frac{\varepsilon}{h},$$

т. е. е дадена со количникот од енергијата на фотонот и Планковата константа. Согласно пак на Ајнштајновата формула за врската меѓу енергијата и масата имаме:

$$\varepsilon = mc^2.$$

Заместувајќи ја оваа вредност за енергијата во предодната формула за честотата добиваме:

$$\nu = \frac{mc^2}{h}.$$

Делејќи ја и левата и десната страна на оваа равенка со брзината на фотоните, т. е. брзината на светлината, добиваме:

$$\frac{\nu}{c} = \frac{mc}{h} \text{ или } \frac{c}{\nu} = \frac{h}{mc}.$$

$\frac{c}{\nu}$ ја претставува таласната должина (λ) на таласот што го прати фотонот, а mc количеството на движењето на фотонот. Спрема тоа таласната должина на таласот што го прати нераздвојно фотонот ќе биде:

$$\lambda = \frac{h}{mc}.$$

За таласната должина пак на таласот што ја прати било која честичка што се движи, важи истата формула, само место брзината на светлината треба да се земе нејзината брзина и, се разбира, нејзината маса, па предодната формула ќе го добие следниот општ вид:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Резимирајќи го сето ова што го кажавме досега за светлината и појавите сврзани со неа, можеме да го извлечеме следниот заклучок: Природата на светлината е многу посложена отколку отсевте се сметаше и како на прв поглед може да се помисли. Исто така и појавите што се сврзани со неа се далеку помногубројни и поразнообразни отколку што порано можеше да се претпостави. Оттука и произлегува мачнотијата да се создаде една теорија во чии рамки ќе бидат опфатени сите светлински појави.

Сpreма сегашниот пак степен на развитокот на физиката, светлината е едновремено и корпускуларна и таласна. „Таа е единство на противуречности: континуирана — таласна и дисконтинуирана — фотон“. И фотоните и таласите се два нераздвојни елементи на еден ист процес, што се одигрува во материјална средина, процес во чии што резултат се јавува она кое ние го викаме светлина.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. J. Lemoine et M. A. Blanc, *Traité de physique*, 2^e volume, Paris (1934).
2. Grimsehl—Tomaschek, *Lehrbuch der Physik*, Band III, Leipzig (1943).
3. С. А. Арцыбышев, *Курс физики*, часть III, Москва—Ленинград (1945).
4. Н. Д. Папалекси (редакција), *Курс физики*, том II, Москва—Ленинград (1947).
5. Г. С. Ландсберг, *Оптика*, Москва—Ленинград (1947).
6. С. Э. Фриш и А. В. Тиморева, *Курс общей физики*, том III, Москва—Ленинград (1951).
7. L. de Broglie, *Matière et lumière*, Paris (1946).
8. К. Н. Елизаров, *Физика в школе* № 2, 17 (1949).
9. С. Г. Суворов, *Физика в школе* № 2, 3 (1953).