

Светлина. Част първа.

Публикувано от Simonsita на 02.02.2010, 19.06

Светлина.

Част първа.

Като наука хлорографията е родена официално през 1947 г. когато Денис Габор осъществява забележителния си опит. По-конкретно той се опитвал да направи усъвършенства оптичния микроскоп. Изхода бе намерен при откриването на електронните вълни, които са значително по-къси от светлинни. Кратността на увеличаването, даваното от микроскопа, или неговата разделителна способност зависи от обхвата на вълните, които се използват за осветяване. Ако веществото се облъчи не със сноп от видима светлина, а със сноп електронни вълни ще се видят подробности, недостъпни даже за най-мощния оптически микроскоп. С електронния микроскоп може да се наблюдават даже по-едри молекули.

Светлината е вълна

Съгласно принципа на Хюгенс всяка точка от пространството, до която достига светлинна вълна, сама става източник на вторични светлинни вълни. Резултатната повърхност, обвиваща вторичните "линии-вълни", образува повърхността на вълновия фронт.

Светлинния лъч заобикаля препятствия

Щом светлината е вълна, тя би трябвало да заобикаля поставено на пътя и препятствие. Оказва се, че такава проява на вълново естество на светлината като заобикаляне на препятствие може да се забележи само тогава, когато размерите на предмета "застанал напреки на лъча", са съизмерими с дължината на светлинната вълна, а тя е много малко - под една хилядна от милиметъра. Естествено е, че препятствието трябва да бъде много малко.

Явлението дифракция - така се нарича заобикаляното на светлинната вълна зад дадено препятствие било наблюдавано още в началото на 18 в. То било обяснено от О. Френел. Решаващият опит бил извършен от френския физик Араго. В центъра на сянката, хвърляна от плътен златен диск, наистина се виждало светло петънце. Това петно е наречено “петното на Поасон”

Светлина може да гаси светлина

Най-убедителното доказателство за вълновия характер на светлината е явлението интерференция.

Тънък слой бензин върху асфалта ни дарява с веселата пъстроцветност на пауново перо. Това е един пример за интерференция. Именно интерференцията на светлината прави сапунения мехур цветен.

Интерференцията е явление, което се наблюдава в резултат от наслаgването на две вълни. Първото правилно обяснение за това явление е дадено от Томъсън Юнг.

В парче картон той пробил с карфица две малки дупчици. След това препречил с картона пътя на тънко снопче светлина, процеждащо се през процепа на прозрачен капак. Снопчето светлина се раздвоявало от картона и попадало върху хартиен екран. Там ставало истинско чудо, появили се тъмни ивици. Тук се оказало, че светлината прибавена към светлина предизвиква тъмнина. Следователно светилния лъч представлява вълна, която може да се усили и отслаби. Ако една от две вълни, които са с еднакви амплитуди, стигне до екрана със закъснение, равно на половината от периода на трептенията (т.е. вълните са с противоположни фази), по правилата на аритметиката тя ще се извади от другата и двете взаимно ще се унищожават. По този начин върху крана се получава зебровидна черно-бяла картина.

Габор - архитектът на светлинната вълна

През 1947 г. Габор се опитва да направи моментална снимка на светлинната вълна, да пресъздаде излъчвания от предмета вълнов фронт. Откъснала се от някакво тяло, светлинната вълна започва свой живот. Тя ни най-малко вече не е свързана с него като облачето дим, откъснало се от огъня. Следователно именно в светлинната вълна и само в нея се съдържа цялата информация за предмета. Тъй, че ако тази вълна бъде уловена от нея може да се разбере абсолютно всичко за даденото тяло.

Но как би могла да се спре една светлинна вълна?

Защо на снимката всичко излиза плоско?

Когато гледаме някаква снимка, ние подучваме впечатление за обемност под какъвто и ъгъл да я гледаме. Ако на снимката се вижда автомобил, спрян пред някаква къща, той закрива всичко, което се е намирало зад него в момента на снимането. Образът е плосък, губи се ефектът на присъствието. Това е особено силно изразено, когато снимката се гледа под някакъв ъгъл. Защо фотографията не ни дава информация за обемността на околния свят?

Фотографията ни дава информация само за амплитудата на светлината и нищо за фазата и. Следователно тя не ни дават точно 50% от информацията за снимания предмет.

Чувствителни слой лента (фотоемулсия) реагира само на интензитета на падащата върху него светлина .т.е. на амплитудата и. И наистина онези части от предмета, които са били по-силно осветени при снимането, излизат по-ярки на снимката. Фотолентата улавя амплитудата на светлината, изпращана от всяка точка на предмета, но не реагира на фазата. Но точно фазата ни дава информация за обемността на предмета.

Светлината има честота $3 \cdot 10^{14}$ Нека някой се опита да улови фазата и, да определи с какво закъснение една спрямо друга частиците пристигат вълните! Всички съществуващи приемници на светлина просто не успяват да реагират на толкова бързо изменение. Точно в това е заслугата на Габор.

Зебровидната иинтерференционна картина е резултат от наслагването на две вълни. Тъмните ивици се получават там, където вълните са с противоположни фази, т.е. разликата между фазите им е 180° , а светлите - там, където вълните пристигат в такт, съгласувано , с еднакви фази. Останалите участъци - сивите маста от интерференционната картина съответстват на междинните случаи, когато разликата между фазите на вълните е по-малка или по-голяма от 180° . Следователно интерференционната картина съдържа информация за фазата на светлината. Вярно, че информацията е за фазата на сумарната вълна, получена в резултат на интерференцията. Но и това все пак е нещо.

Раждането на холографията

Габор взема малко полупрозрачно кубче и го осветява с ярка светлина от живачна лампа. За онези време това е най-добрия кохерентен източник на светлинни вълни. Страните на кубчето блясват. На пътя на вълните, отразявани то кубчето, и на вълните, излъчвани от живачната лампа. Габор поставя високочувствителна фотоплака, която в случая изпълнява ролята на екран (в опита на Юнг е чист лист хартия).

В резултат от наслаgването или интерференцията на вълната от лампата ($B1$) и вълната на кубчето ($B2$) се получава нова сумарна светлинна вълна (**$B2 = B1 + B2$**).

Фотоплаката улавя именно тази вълна. Следователно върху фотоемулсията се фиксира интерференционна картина - тъмни и светли петна. Тази картина Габор нарича хлорограма.

След проявяването се оказва, че цялата фотоплака е нашарена с черно-бели ивици. Невъзможно е да се разбере какво е изобразено върху нея. Сякаш плаката просто е осветена от някой небрежен фотолюбител. И въпреки това върху нея е запечатан цялостния портрет на светлинната вълна - нали фотоемулсията е реагирала като на амплитудата, така и на фазата на сумарната вълна.

Поставяйки си за цел да пресъздаде или, както той казва, да реконструира светлинна вълна, излъчена от какъв да е предмет, Габор избира като начало обект с елементарна форма - кубче. Той успява - излъчваната от кубчето светлина е замразена. За съжаление тя не е сама, а е заедно с безполезни примеси вълната ($B1$). Така че фотоемилсията се превръща в своеобразна светлина "руда". Как в такъв случай от нея да бъде извлечен "металът" - първоначалната светлина?

Ако означим търсената светлинна вълна с $B2$, тогава **$B2 = B3 - B1$** .

Следователно за да определим $B2$, трябва да знаем величините $B3$ и $B1$. Величината $B3$ е известна - тя е "консервирана" върху фотоемулсията. А величината $B1$?

Тук на помощ на Габор идва светлината на живачната лампа (вълната B1). Тази лампа е ярка и излъчва светлина с една и съща дължина на вълната. Освен това тя има и други стабилни характеристики. Следователно може да се твърди, че величината B1 е също известна!

Но как една вълна може да се извади от друга? Габор предлага прост метод. Той смества изваждането със събиране - нали да се извади вълната B1, това е все едно да се прибави вълна B1. Знакът минус означава, че вълната се движи в обратна посока Габор поставя от дясната страна на хлорограмата същата живачна лампа, която вече е използвал Само че светлината сега е насочена не отляво надясно а обратно - отляво на ляво. Тази вълна се натъква на черно бялото сито на хлорограмата. В резултат на дифракцията зад хлорограмата (отляво) възникват същите вълни, които са я предизвикали т.е. вълните B1 и B2. Но вълната B1 е равна по големина на вълната B2, а точно тя е размразената вълна! Достатъчно да се надзърне през хлорограмата като през прозорче, за да се види плуващото във въздуха кубче. Образът е толкова реален, че просто мами да го пипнеш. Излиза, че окото може да бъде измамено.

Окото като оптичен апарат

Човешкото око може да бъде сравнено с телескоп със специално мускулно окачване. Благодарение на това то може да се върти. Окото има почти кълбовидна форма и е обгърнато с непрозрачна еластична обвивка - скелера. В предната си част скелерата има "илюминатор" - роговица. Роговицата представлява доста плътна прозрачна ципа. Именно през нея човек вижда околния свят.

По вътрешната страна на скелерата ляга съдовата ципа (хоридея), която е богата на кръвоносни съдове. Те снабдяват окото с кислород и хранителни вещества. В предната си част тази обвивка преминава в дъгова ципа - ирис. Ирисът е мускулест - той съдържа голям брой миниатюрни мускулни влакна. В центъра му се намира кръгъл отвор - зеница. Светлинните лъчи, преминавайки през роговицата и зеницата, попадат в миниатюрен "басейн" който би бил малък даже за Палечека. Това е т.нар. предна очна камера, която е запълнена с бистра течност. Този "басейн" е заграден от една страна с роговицата, а от друга с малка леща (кристалин). Пространството зад кристална е запълнено със стъкловидна пихтия, обгърната от ретина - обвивка, чувствителна към светлинните лъчи.

В превод от латински ретина означава мрежа. Наистина, ако я разгледаме под микроскоп, ще видим гъста мрежа от кръвоносни съдове. Но не това е главното. Ретината е изградена от специални

нервни образувания -фоторецептори. Те именно превръщат светлината в електрични импулси - езикът, на който говори нервната система.

Ретината е изнесена навън част от мозъчната кора чувствителна към светлина. Тя съдържа и типично мозъчни клетки, разположени между фоторецепторите на зрителния нерв, който окончава в мозъка. Това са клетките, които определят електричната активност на фоторецепторите. По такъв начин процесът на виждането, протичащ в окото, е неразделна част от дейността на мозъка.

В ретината има два вида фоторецептори - “първични” и “конусчета” (колбички). Те са наречени така заради формите си, които се виждат добре под микроскоп. Може да се каже, че в човешкото око има две взаимно преплитачи се терини, пръчковидна и конусовидна. Конусчетата действуват, когато в окото попада достатъчно силна светлина. Благодарение на тях човек възприема цветовете. Пръчиците действуват при недостатъчно осветление (през нощта) и позволяват да се възприема само нюанси. Централната трапчинка на ретината, наречена фовеа, където конусчетата са разположение най-гъсто е мястото на най-ясното виждане на детайли и цветове, но то е по-малко чувствително о периферната част, която е запълнена с по-примитивните пръчици.

На светло и на тъмно

По своята същност интензитетът на светлината представлява енергията на светлинния поток. Той може да бъде измерен с уреди, подобни на експониметъра. Интензитета на светлината създава у нас усещане за светлост, което е най-простото, най-достъпното то всички зрителни усещания. Неговата противоположност е тъмнината.

Светлоусещането зависи до голяма степен от приспособяването (адаптирането) към падащите в окото светлинни лъчи. То зависи не само от интензитета на светлината, попадаща върху ретината, но и от продължителността на облъчването.

От опит знаем, че ако стоим известно време на тъмно, очите ни стават много чувствителни. Благодарение на това даже светлината на малко джобно фенерче ни се струва ослепително ярка. Това свойство на очите се нарича адаптация. Установено е, че в този случай в окото се възстановява специално вещество - зрителен пурпур родопсин, който се разпада под въздействието на светлината. Впрочем именно на това разпадане се дължи възбуждането на

фоторецепторите (пръчиците и конусчетата), който започват да изпращат електрични импулси по зрителния нерв в мозъка.

Разбира се, в процеса на виждането в окото действуват и друг механизми освен химичните изменения. Например, след като окото се адаптира към тъмнината, чувствителността му се повишава, но затова пък отслабва остротата на зрението . т.е. окото губи способността си да различава по-дребните детайли. Това явление е сложно и е свързано отчасти с обстоятелството, че в този случай окото трябва да трупва (интегрира) светлинна енергия от по-голяма площ на ретината. т.е. от по-голям брой рецептори. Следователно увеличава се времето, необходимо за формиране на сигнала който може да бъде изпратен по зрителния нерв в мозъка.

Как човек възприема околния свят

Някой човешки органи са чифтни, което не само повишава тяхната сигурност, но и дава и нещо качествено ново.

Например двете ни очи, както впрочем и ушите не работят сами за себе си. Те съвместно възприемат и сверяват зрителната информация. Благодарения на това човек възприема нещата, които биха били недостъпни само за едно око или ухо.

Това, че човек вижда нещата обемни, се дължи на специален зрителен механизъм - конвергенция. Конвергенцията - насочването на очите към една точка -дава възможност да се прецени разстоянието до даден предмет. По мускулното усилие, необходимо за конвергенцията, се определя разстоянието. За да се види предмет, поставен много наблизо до очите се изисква голямо мускулно усилие.

Оптичните далекомери действуват по същия принцип. Състои се от две далекогледни тръби, разстоянието между които е постоянно. то се нарича база на далекомера. Всяка една от тръбите се фокусира върху наблюдавания предмет. Далекотърът има кръгова, по която от ъгъла между тръбите (ъгъла на конвергенцията) се отчита направо разстоянието до предмета.

Подобен вид далекомер обаче има един съществен недостатък. В един и същи момент той може да показва разстоянието само до един предмет. Ако предметите са повече?

Ето тук на помощ идва съвместната работа на два механизма за обемно виждане - стереоскопичното възприемане на дълбочината (т.е. диспаратността) и конвергенцията. Ъгълът на конвергенцията по своеобразен начин коригира стереоскопичното усещане на същата диспаратност. Например,

ако очите са насочени към отдалечен предмет, тогава дори малката диспарантност между образите върху ретините се възприема от мозъка като незначителна разлика по отношение на дълбочината.

Как човек различава цветовете

Интересно е да се отбележи, че цветното зрение наистина е “дар божий”, щастлива съдба на избраници. Освен човека, никой друг бозайник няма цветно зрение.

Нютон е доказал, че бялата светлина има сложен характер и се състои от всички цветове на спектъра. С развитието на вълновата теория за светлината станало ясно, че на всеки цвят от спектъра отговаря определяна дължина на вълната.

Действително, ако в окото има нервни клетки - фоторецептори, чувствителни към всеки отделен цвят, тогава те би трябвало да бъдат най-малко 200 различни типа. Това обаче не е така поради простата причина, че при цветната светлина човек вижда толкова добре колкото и при бяла светлина. Окото има малък брой рецептори. Според Юнг те са само три.

Що е кохерентност?

Отдавна учените искат да създадат уред който по ефектност и съвършенство на генерираните светлинни вълни да може да се сравни с генераторите на радиовълни. Радиовълните са сбити в тесен честотен спектър.

Исторически най-напред се създадоха предпоставки за изобретяването на мазера - квантов генератор на електромагнитни вълни от радиообхвата. Думата мазер е образувана от началните букви на английските думи “Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. което в превод означава “усилване на микровълна чрез принудително излъчване”. По-късно бе създаден квантов генератор, който излъчва електромагнитни вълни от светлинния обхват. По аналогия с мазера то бе нарече лазер (на английски от светлина Light). По своята същност лазерът е материално възплъщение на легендарния “хиперболид на инженера Гарин” роден от фантазията на Алексей Толстой.

Лазерът излъчва в точно определена посока тесни светлинни снопове с огромен интензитет. Тези снопове са значително по-монохроматични от снопове, изпускани от други източници на светлина. Като източници на вълни с една и съща честота лазерите вече съперничат с най-съвършените генератори на вълни.

За да си изясним недостатъците на обикновените светлини вълни, ще разгледаме тяхното получаване. Всички източници на светлина - лампи с нажежаема нишка, електродъгови лампи и т.н. са всъщност нажежено вещество, Вярно е, че стъклените стени на неоновата тръба са студени, но електроните и йоните на газа във вътрешността на тръбата се ускоряват до големи скорости, което е свързано с високи температури. Атомите непрекъснато се "напомпват" до възбудено състояние, след което "издишат", като губят енергия и излъчват видима светлина. Връщат се обаче не всички накуп, а един по един. На хаотичното движение на атомите, характерно при нагreti газове, съответствува хаотично излъчване на светлини кванти, или фотони. Точно кои атоми излъчват във всеки даден момент не се знае - това съвсем случаен процес. Възбудените атоми в нажежената волфрамова нишка в обикновена електрическа крушка също излъчват случайно и независимо.

Затова светлината, излъчена от кой да е обикновен източник, се нарича некохерентна. Това означава, че тя е във вид на отделни разбъркани слаби вълни, които взаимно се усилват или гасят по случаен начин. Така полученият вълнов фронт се променя от една точка към друга и във всеки момент от времето. Той напомня вълновия фронт, който се образува, когато хвърлим в локва вода шепа камъчета. От друга страна ако хвърлим в локвата само едно камъче, ще получим се получи кохерентен кръгов фронт. По пътя на по-нататъшни сравнение можем да се представим точков източник на светлина, който да генерира кохерентни вълни с фронтове, образуващи сферични повърхности. На свой ред друг подходящ източник би могъл да генерира кохерентни вълни с плоски вълнови фронтове и с еднакъв интензитет на електричното поле във всички точки на равнината. При преминаване на вълновите фронтове през дадена точка от пространството би могло да се види плавно и ритмично по фаза изменение на интензитета на електричното поле между положителни и отрицателни стойности.

Ако към обикновен генератор на радиовълни се включи малък излъчвател с подходяща конструкция, той ще излъчва сферични кохерентни вълни. При желание към генератора може да бъде включен цял комплект антени, излъчващи насочена вълна, която в много отношения ще прилича на плоската вълна.

Насочена вълна от некохерентен източник на светлина може да се получи, като се използва източник с малки размери. Ако на известно разстоянието от него се постави екран с отвор, може да се отдели сегмент от вълна, имаща нужната посока. Може да се използва и друг начин, при който светлината, излъчвана от малък източник, се фокусира с голямо огледало или леща в резултат на което се получава светлинен сноп с почти успоредни лъчи. Снопът, който се излъчва от електродъгова лампа и се фокусира с едно почти двуметрово огледало, се отклонява от успоредността с около един градус. Както ще видим по-нататък, лъчението на оптичния мазер има по-малка разходимост и е кохерентно.

Най-важния недостатък на обикновените източници на светлина е може би присъщата им недостатъчна яркост. Колкото и висока да е температурата им, те не могат да излъчват повече енергия, отколкото един съвършен излъчвател при същата температура. Теоретично излъчената енергия на съвършения излъчвател, наречен черно тяло, се дава от формулата на Макс Планк. Например видимата повърхност на Слънцето е до голяма степен аналогична на черно тяло с температура 6000°C . С пълна мощност слънчевото излъчване на всички дължини на вълните е равна на 7kW на един квадратен сантиметър от повърхността му, така че колкото и да се опитваме да съберем или да концентрираме слънчевата светлината, не бихме могли да постигнем голяма плътност.

Макар че 7 kW изглежда много, в действителност това не е така, ако се вземе предвид огромната широчина на слънчевият спектър. За да получим нагледна представа за казаното, нека да сравним широчината на видимата част от електромагнитния спектър с широчината на стандартен телевизионен канал, равна например на 4 MHz . След известни пресмятане се получава, че $4000\text{ до }7000\text{ A}^1$ може да събере 80 милиона телевизионни канала. С други думи, всеки ангестрьом отговаря на честотен интервал от около $100\,000\text{ Hz}$. Ако можеше да се отдели тясната линия от зелената светлина с широчина един мегахерц от областта, където слънчевото лъчение има максимум (4800 A), щеше да се окаже, че всеки квадратен сантиметър от слънчевата повърхност излъчва само 0.00001 W . За да се получи зелена светлина с мощност 1 W в честотен интервал 1 MHz , трябва да се събере и филтрира лъчението от около 10 m^2 от повърхността на Слънцето. Затова пък създадените от човека предаватели, работещи в телевизионната област на радидоспектъра, могат лесно да

генерират 10 000W в обхват, много по-тесен от 1 MHz.

Обикновените източници на светлина са подобни на Слънцето - те са всъщност широколентови генератори на шум, който разсейват лъчението си в широк честотен интервал, като в коя да е произволно взета честота е концентрирана малка мощност. Дори газоразрядните лампи, които излъчват ограничен брой тесни спектрални линии, отстъпват на генераторите на радиовълни по мощността, генерирана на една честота.

Положени са значителни усилия за възбуждане на по-къси вълни с помощта на генератори на радиовълни; дължината на най-късата вълна която може да се генерира с обикновените радиотехнически средства, е около 1 мм, или 20 милиона ангстрьома. Всеки опит да се получат по този начин по-къси вълни сблъсква с огромни трудности. На първо място това е трудността при изработването на резонатори. При милиметровата дължина на вълната те вече са толкова малки, че трудно могат да се изработват с еднаква точност. За създаване на вълни от оптичния обхват дължината на която е с три порядъка по-малка, трябва да се подходи по съвсем друг начин.

Приемливото решение на този проблем е усилията да се насочат не към направата на такива миниатюрни резонатор, а към използването на атомни или молекулни резонатори. Природата ни е снабдила с голям брой такива резонатори за всички области на спектъра - инфрачервената, видимата и ултравиолетовата. И наистина използването на атомните трептения в газоразрядните лампи е нещо обикновено. Единичния атом обаче излъчва много малко енергия и то на интервали. Това, което би трябвало да се направи, е да се намери някакъв начин за синхронизиране на голям брой атоми, така че те да могат да работят заедно, създавайки мощна кохерентна вълна.

Именно такъв метод лежи в основата на мазера. В първия мазер, изработен през 1954 г. за получаване на микровълнови трептения с точно определена честота се използват трептенията на амонячни молекули. Беше посочен практически методът за направата на т.нар. твърдотелен мазер с три нива, който служи като нискофонов усилвател на микровълни. После бяха създадени много други типове мазери. Те се оказаха много удобни за радиоастрономите, които ги използват за усилване на слаби радиосигнали от космоса. През последните години мазерите намериха приложение и за усилване на слаби сигнали, отразени от спътник "Ехо"

Как работи лазера?

Процесът на принудено излъчване, който е в основата на действието както на мазера, така и на лазера е обратен на процеса поглъщане на електромагнитни

вълни или фотони от атомните системи. Когато фотонът се поглъща от атома, енергията му се превръща във вътрешна енергия на атома. В резултат на това атомът преминава във възбудено квантово състояние. По-късно той може да излъчи тази енергия, спонтанно, при което се отделя фотон, а атомът се връща в основното или в някакво междинно състояние. Когато атомът е все още възбуден, той може да бъде принуден да излъчи фотон, ако се сблъска с външен фотон (вълна), чиято енергия е равна на енергията на възбуждане. Броят на фотоните ще се увеличи, тъй като към тях ще се прибави фотонът, излъчен от предварително възбудения атом. Още по-важно и забележително е обстоятелството, че тази вълна (фотон) се излъчва във фаза с вълната, която я е породила. Това явление лежи в основата на лазера.

Проблемът при създаването на лазера е приготвянето на такава активна среда, в която по-голяма част от атомите да могат да преминат във възбудено състояние. Тогава, като се пропусне през нея електромагнитна вълна с необходимата честота, ще се получи "лавина" от фотони. За да може принуденото излъчване да превишава поглъщането, е необходим излишък от възбудени атоми. Атомите преминават във възбудено състояние чрез въвеждане на електромагнитна енергия в системата, като дължините на вълните се различават от дължината на вълните в принуденото излъчване; този процес се нарича "напомпване".

Приготвената активна среда трябва да се постави в резонатор. Тогава вълната, възникваща до една от стените на резонатора, ще се увеличава по амплитуда, докато стигне до другата стена, където ще се отрази обратно в масата от възбудени атоми. При отражението загубите са неизбежни, тъй като то не е идеално. Ако принуденото излъчване е достатъчно голямо, за да надхвърли загубите при отражението, в камерата на резонатора ще се получи усилване на стояща вълна. За сантиметровите вълни не е трудно да се направи камера с размери, равни на дължината на вълната, и да се конструира по такъв начин, че да се получава вълна само с една честота. На единствена честота на трептенията съответствува и единствена честота на изходното излъчване. Допълнителните честоти създават хармонични периодични трептения и конкурират основната честота при разпределението на енергията, излъчвана от възбудените атоми.

За оптичните дължини на вълните трябва да се правят монохроматични резонатори с неприемливо малки размери. За да се преодолее тази трудност, през 1958 г. бе предложен специален тип резонатор за квантов генератор на вълни с оптични дължини. Размерите на този резонатор са хиляди пъти по-големи от дължините на излъчваната вълна, но въпреки това получаваните трептения са с една единствена честота. Резонаторната камера в лазера бе заменена с две малки огледала, поставени едно срещу друго.

Вълната, която възниква до едното огледало и се разпространява по оста на системата, нараства благодарение на принуденото излъчване, докато стигне до другото огледало. Там тя се отразява обратно в активната среда и продължава да нараства. Ако интензитетът стане достатъчно голям, за да надхвърля загубите при отражение от огледалата, в системата ще се получи стояща вълна. Ако едното от огледалата е полупрозрачно, част от вълната може да премине през него, което всъщност представлява излъчването в лазера.

Очевидно е, че вълната, която се разпространява под ъгъл към оста, ще напусне системата след неколкостепенното си отразяване, а дори е възможно въобще да не попадне поне върху едно от огледалата. Вероятността такава вълна да се усили е много малка от вероятността за вълната, движеща се по оста на системата. Както е и при мазерните вибратори, лазерът започва да действа още при първите спонтанно отелени фотони, като предварително системата е била “напомпана” до активно състояние. (От друга страна лазерът, конструиран да работи като усилвател, използва входния сигнал като симулатор. Може да се очаква, че излъчването на идеален лазер, конструиран по такъв начин, ще има строго определена посока, защото през активната среда могат да преминава много пъти може би хиляди само онези вълни, които не се отклоняват твърде далеч от оста на лазера. То ще бъде много мощно, тъй като при принудителното излъчване възбудените атоми изпускат енергия едновременно, а не така както биха направили това при спонтанния преход. Лъчението ще бъде монохроматично, защото принудителното излъчване е резонансен процес и е най-силно в центъра на честотната лента, или дължините на вълните.

Накрая, лазерното излъчване, ако то е добра апроксимация на плоска вълна, движещата се в една посока, вълнови фронтове представляват равнини, перпендикулярни на посоката на разпространението. Тъй като лазерното излъчване е монохроматично, то е кохерентно и във времето. Това означава, че съществува определена постоянна разлика между фазите на вълната, излъчена в някакъв момент от време. и вълната, излъчена малко по-късно. “Гребените” на вълната с период една секунда следва един подир друг през интервал, равен на една секунда. От друга страна, ако честотата се променя, интервалът между гребените ще бъде неравномерен. Колкото по-близо е вълната до една фиксирана честота, толкова по-кохерентна е тя във времето.

За проверка на тези предположения беше необходимо да се приготви такава активна среда, в която би могъл да се лазерния ефект. Първото съобщение за успех в тази насока бе направено през юли 1960 г., когато за тази цел беше използван рубинов кристал. Между юли и края на същата година няколко учени направиха успешни опити с още четири вещества. Всички тези уреди осъществяват на практика идеята за използване на отразяващи гранични огледала, описана по-горе. Бяха получените лазерни генератори за 11 различни

дължини на вълните. По всяка вероятност този комплект ще бъде разширен.

Рубинова мълния

Рубиновия лазер е типичен пример на втвърдителен лазер. Рубинът представлява двуалуминиев триокис, в който определен брой алуминиеви атоми са заместени с атоми на хрома; колкото повече е хромът, толкова по-силен е цветът. Цветът се дължи на това, че хромовите атоми в кристала поглъщат голяма част от зелената, жълта и ултравиолетовата светлина и пропускат само на два етапа. През първия етап възбудените хромови атоми предават известна част от енергията си на кристалната решетка и сливат до т.нар. метастадени да излъчват, те остават на това ниво няколко милисекунди, а после преминават в основното си състояние по случаен начин. Фотонните, излъчени при този последен преход, при стайна температура имат дължина на вълната 0.69mm, която е от червената област на спектъра. В лазерите обаче още първите освободени фотони с такава дължина на вълната принуждават вече възбудените хромови атоми да излъчват фотони и да преминават в основното си състояние едновременно, а не възниква поток от фотони с еднаква дължина на вълната, равна на 0.69 mm. Отначало бил използват бледорозов рубинов кристал, съдържащ 0.05% хром

За да може да бъде използван в лазер, розовият рубин се подлага на механична обработка и се превръща в цилиндър с дължина около четири сантиметра и диаметър 5 милиметра. Двата му края се полират, докато станат огледално гладки и успоредни, след което единият край частично се посребрява. Цилиндърът се поставя до импулсна електронна лампа, която излъчва широколентово спектр. Учените откриха, че най-мощните от тези лампи могат да накарат по-голяма част от хромовите атоми да преминат във възбудено състояние. Преди определено критично ниво на възбуждане рубинът излъчва размит импулс, типичен за флуоресцентната светлина. Излъчването продължава толкова време, колкото е необходимо, за да преминат възбудените атоми в основното си състояние. Над критичното ниво обаче започва да се проявява лазения ефект -от частично посребрения край на цилиндъра започва да се излъчва интензивен импулс червената светлина с продължителност около половин милисекунда. Това показва, че вече има достатъчно възбудени атоми, за да се компенсират загубите при отражение от краищата на цилиндъра.

През 1959 г. бе изказано предположението, че може да се направи лазер, в който да се използва тъмночервен рубин, съдържащ 10 пъти повече хром, отколкото розовият. Смяташе се, че при такава голяма концентрация лазерният ефект ще се прояви при две различни дължини на вълните. В друг тип твърдотелни лазери бяха използвани кристали калциев флуорид с примеси от йони на асамарий и уран.

Всички тези лазери първоначално работеха в импулсен режим, но голяма част от тях могат да работят и в непрекъснат режим. Активната им среда е по-неподходяща за тази цел, отколкото средата на други типове лазери, например газите. В някои от лазерите възбуденото състояние се постига чрез обикновено оглаждане при разширяване на предварително нагрят газова смес.

Съвсем друг начин за получаване на възбудени атоми се използва в лекетричната газоразрядна тръба. В хелий-неоновата (He-Ne) газовата след могат да се генерират няколко дължини на вълните от инфрачервената област на спектъра. Това устройство бе предложено през 1960 г. Основната характеристика на този лазер е възможността за непрекъсната работа при много малка консумация на енергия.

Принуденото излъчване на хелий-неоновия лазер се получава при преходите на неоновите атоми между две междинни състояние, най-долното от които е разположение достатъчно високо над основното състояние, най-долното от които е разположено достатъчно високо над основното състояние. За газовия разряд се изразходва толкова енергия, колкото и в обикновената неонova тръба. Освен това се осигурява определена степен на възбуждане на неоновите атоми, необходима за създаване на непрекъснат лазерен лъч. Лъчът се усилва по същия начин както в рубиновите лазери и става кохерентен в резултат на многократното му отразяване в краищата на цилиндъра, в който се намира газовата смес.

Семейство лазери

Хелий-неоновия лазер е пример за увеличаващата се изобретателска находчивост в лазерните конструкции. Енергията, необходима за възбуждане на неоновите атоми не се предава непосредствено от външен фотон; неоновите атоми я получават при сблъскването си с възбудени хелиеви атоми. Има и много други възможности, които тепърва предстои да се изследва. Енергийните нива в лазери, могат да се открият в много различни типове системи. Например излъчваните в инфрачервената област линии се генерират както в резултата на възбуждането на газови молекули, йони в кристали, така и на определени атоми в кристалите. Кой от тези методи е по-добър за лазерите може да се разбере

едва след задълбочено изследване на спектрите на системите.

Днес, когато лазерите за вече факт, може да се направи сравнение с предполагаемите параметри на лазерния лъч с реално получените. Към тези параметри се отнасят мощността, насочеността на излъчването, кохерентността и широчината на честотната лента. Най-много информация е събрана за розовия рубинов лазер. Успоредността на лъча на този лазер се нарушава с по-малко от полови градус. При по-малка мощност отклонението намалява. Такова отклонение от успоредността означава, че на всеки километър лъч ще се разширява с около един метър. То може да се намали, когато лъчът се пропусне през телескоп в обрана посока. Прилагането на този метод дава възможност върху луната да се проектира светлинно петно с диаметър 3.2 км.

При желание мощността на лазера може да бъде концентрирана и да се използва за интензивно нагряване.

Видимият звук

Акустична “фотокамера”

Отличната холография - начин за получаване на тримерни образи с помощта лазерни лъчи - роди нова форма на холографията, в която за създаване на първична холограма вместо светлини вълни се използват звукови. След това за възстановяване или превеждане на зрителен образ “влиза в действие” лазерния лъч. С други думи, акустичната холография създава оптичен аналог на акустично вълново поле. Тъй като звуковите вълни проникват и през непрозрачни предмети, като се почне от живите тъкани и се стигне чак до металните съоръжения, нови метод за получаване на образи има приложение в много области.

Оптичната холография, наричана процес на възстановяване на вълнов фронт, намери практическо приложение с откриването на лазера - интензивен източник на светлина, чиито вълни са кохерентни или са с еднакви фази. Оптичната холограма се получава по следния начин. Лазерният лъч се насочва върху предмета. В резултат от взаимодействието на светлините вълни отразени в предмета, с опорния лъч, който е част от първичния лазерен сноп, се наблюдават интерференционни картини, които се регистрират върху фотоплака. Макар че получената по този начин холограма изглежда като безсмислена плетеница, в действителност тя съдържа в кодирана форма цялата информация, която би приело окото, ако бъде поставено на мястото на фотоплаката. Кодът може да се дешифрира, като холограмата се освети с друг лазерен лъч, който ще възстанови предишния вид на обекта.

За да се направи акустична холограма, "сцената", която дава да се регистрира вместо с лазерен лъч се "осветява" със звук с чист тон. Намиращите се на "сцената" предмети внасят смущения от звукови вълни, в резултат на което възникват интерференционни картини, аналогични на получаваните със светлини вълни. Както ще видим по-късно, в акустичната холография не винаги е необходимо да се използва опорен лъч и освен това холограмите могат да се записват по различни начини. След като бъде записана, акустичната холограма може да бъде възстановена с лазерен лъч по същия начин като оптичната.

Какви са в случая предимствата на звука пред светлината? Взаимодействието на звука с твърдите и течните тела се различава от това на електромагнитното лъчение. Звукът може да изминава без забележими загуби на енергия големи разстояния в плътна еднородна среда, но поради отражението губи голямо количество енергия на граничните повърхности. Обратно, електромагнитното лъчение, например рентгеновите лъчи, губи значителна енергия при преминаването през средата, но на граничните повърхности загубите са незначителни. Затова само звукът може да бъде ефикасен в медицинската диагностика, за контрол без разрушаване на обекта, в подводните и подземните проучвания. Това се обяснява с факта, че изследователят се интересува главно от рани на вътрешните органи, тумори, пукнатини, потънали обекти или подземни пластове, а не от дебелината или плътността на средата.

Разбира се, получаването на образи помощта на звук не е нещо ново, Има уреди, наречени сонари, с които се получават картини като на екрана на радара. Съображенията от този тип намират приложение при проучване на земни пластове за нефт и полезни изкопани. Лекарите също използват подобни методи за откриване на белодробни тумори и при изследване на плода. В тези случаи обикновено звукът е с честота от 1 до 10 MHz. В един акустичен метод се използва уред, който можем да наречем акустична "фотокамера". Отразените от

обекта звукови вълни се фокусират с акустична леща върху преобразувател на образа, който превръща конфигурацията на вълните във видима картина.

Недостатък на тези звукови методи е двумерността на получения образ. Тя се дължи на факта, че се фиксира само интензитетът (квадратът на амплитудата) на звуковите вълни, без да се регистрира информация за фазата. т.е. времето на пристигане на гребен на вълна от обекта спрямо времето на пристигане на гребена на опорна вълна със същата честота. В холографията цялата информация може да се преобразува обратно в оптичен образ, в които се запазват и трите измерения на обекта.

Най-лесния начин да се разбере принципът на действие на холограмата е да се гледа на нея като на кодирана фигуративна решетка. Отначало ще разгледаме прост точков обект, които се облъчва с плоска вълна, излъчвана от безкрайно отдалечен кохерентен източник. Обектът разсейва част от вълната, като я превръща в сферична вълна с център в точката, в която той се намира. И сферичната (разсеяната), и плоска (опорната) вълна попадат върху равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение на опорната вълна. В някой точки на равнината опорната вълна има еднаква фаза с разсеяната, затова при интерференцията те се наслагват, като увеличават амплитудата на резултатната вълна. В други точки вълните са с противоположни фази, поради което те се изваждат при интерференцията, като намаляват амплитудата. Ако регистрираме амплитудата (интензитета) върху равнината като изменение на степента на потъмняване на фотоплакмата ще получим концентрични кръгове с център пресечната точка на равнината на плаката и линията, минаваща през източника на звука и точковия обект. Тази картина много прилича на френеловите зони - централно "око", заобиколено с концентрични пръстени с постоянно намаляваща дебелина. В холограмата на точков обект обаче плътността на пръстените се изменя при отдалечаване от центъра по синусов закон, като честотата на синусовите вълни се увенчава към периферията.

Визуализиране на звукови вълни

Оптичната холография - начин за получаване на тримерни образи с помощта лазерни лъчи - роди нова форма на холографията, в която за създаване на първична холограма вместо светлини вълни се използват звукови. След това за възстановяване или превеждане на зрителен образ "влиза в действие" лазерния лъч. С други думи, акустичната холография създава оптичен аналог на акустично вълново поле. Тъй като звуковите вълни проникват и през непрозрачни предмети, като се почне от живите тъкани и се стигне чак до металните съоръжения, нови метод за получаване на образи има приложение в много области.

Оптичната холография, наричана процес на възстановяване на вълнов фронт, намери практическо приложение с откриването на лазера - интензивен източник на светлина, чиито вълни са кохерентни или са с еднакви фази. Оптичната холограма се получава по следния начин. Лазерният лъч се насочва върху предмета. В резултат от взаимодействието на светлините вълни отразени в предмета, с опорния лъч, който опорния лъч, който е част от първичния лазер сноп, се наблюдават интерференционни картини, които се регистрират върху фотоплака. Макар че получената по този начин холограма изглежда като безсмислена плетеница, в действителност тя съдържа в кодирана форма цялата информация, която би приело окото, ако бъде поставено на мястото на фотоплаката. Кодът може да се дешифрира, като холограмата се освети с друг лазерен лъч, който ще възстанови предишният вид на обекта.

За да се направи акустична холограма, "сцената", която дава да се регистрира вместо с лазерен лъч се "осветява" със звук с чист тон. Намиращите се на "сцената" предмети внасят смущения от звукови вълни, в резултат на което възникват интерференционни картини, аналогични на получаваните със светлини вълни. Както ще видим по-късно, в акустичната холография не винаги е необходимо да се използва опорен лъч и освен това холограмите могат да се записват по различни начини. След като бъде записана, акустичната холограма може да бъде възстановена с лазерен лъч по същия начин като оптичната.

Какви са в случая предимствата на звука пред светлината? Взаимодействието на звука с твърдите и течните тела се различава от това на електромагнитното лъчение. Звукът може да изминава без забележими загуби на енергия големи разстояния в плътна еднородна среда, но поради отражението губи голямо количество енергия на граничните повърхности. Обратно, електромагнитното лъчение, например рентгеновите лъчи, губи значителна енергия при преминаването през средата, но на граничните повърхности загубите са незначителни. Затова само звукът може да бъде ефикасен в медицинската диагностика, за контрол без разрушаване на обекта, в подводните и подземните проучвания. Това се обяснява с факта, че изследователят се интересува главно

от рани на вътрешните органи, тумори, пукнатини, потънали обекти или подземни пластове, а не от дебелината или плътността на средата.

Разбира се, получаването на образи помощта на звук не е нещо ново, Има уреди, наречени сонари, с които се получават картини като на екрана на радара. Съображенията от този тип намират приложение при проучване на земни пластове за нефт и полезни изкопаеми. Лекарите също използват подобни методи за откриване на белодробни тумори и при изследване на плода. В тези случаи обикновено звукът е с честота от 1 до 10 MHz. В един акустичен метод се използва уред, който можем да наречем акустична “фотокамера”. Отразените от обекта звукови вълни се фокусират с акустична леща върху преобразувател на образа, който превръща конфигурацията на вълните във видима картина.

Недостатък на тези звукови методи е двумерността на получения образ. Тя се дължи на факта, че се фиксира само интензитетът (квадратът на амплитудата) на звуковите вълни, без да се регистрира информация за фазата. т.е. времето на пристигане на гребен на вълна от обекта спрямо времето на пристигане на гребена на опорна вълна със същата честота. В холографията цялата информация може да се преобразува обратно в оптичен образ, в който се запазват и трите измерения на обекта.

Най-лесния начин да се разбере принципът на действие на холограмата е да се гледа на нея като на кодирана фигуративна решетка. Отначало ще разгледаме прост точков обект, който се облъчва с плоска вълна, излъчвана от безкрайно отдалечен кохерентен източник. Обектът разсейва част от вълната, като я превръща в сферична вълна с център в точката, в която той се намира. И сферичната (разсеяната), и плоска (опорната) вълна попадат върху равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение на опорната вълна. В някой точки на равнината опорната вълна има еднаква фаза с разсеяната, затова при интерференцията те се наслагват, като увеличават амплитудата на резултатната вълна. В други точки вълните са с противоположни фази, поради което те се изваждат при интерференцията, като намаляват амплитудата. Ако регистрираме амплитудата (интензитета) върху равнината като изменение на степента на потъмняване на фотоплаката ще получим концентрични кръгове с център пресечната точка на равнината на плаката и линията, минаваща през източника на звука и точковия обект. Тази картина много прилича на френеловите зони - централно “око”, заобиколено с концентрични пръстени с постоянно намаляваща дебелина. В холограмата на точков обект обаче плътността на пръстените се изменя при отдалечаване от центъра по синусов закон, като честотата на синусовите вълни се увенчава към периферията.

Визуализиране на звукови вълни

Фотоплаката с получените върху нея пръстени има едно добре известно свойство - тя действува като леща благодарение на дифракцията от пръстените. Действието и обаче е едновременно и като на изпъкнала, и като на вдлъбната леща. Ако описаната холограма се освети само с плоска (опорна) вълна, като вдлъбната леща тя поражда разходяща сферична вълна, разпространяваща се от фотоплаката. Така се създава “фалшив” (недействителен) образ на точката в мястото, където се е намирал точковия обект. Същевременно като изпъкнала леща тя поражда сходяща вълна, образуваща действителния образ на обекта.

Следователно резултатната вълна, разпространяващ се от холограмата, има три съставки. Първата е част от вълната на източника, която отслабва при директното си преминаване през холограмата. Тя се нарича вълна на нулев ред. Втората съставка разходяща сферична вълна, разпространяваща се като че ли от недействителен образ на точката. Нарича се дифракционна вълна от първия ред. Тя възстановява първоначална сферична вълна, излъчена от точковия обект при образуването на холограмата, и се нарича правилна възстановяваща вълна. Третата съставка е сходяща сферична вълна, която образува действителния образ на точката. Тя също е дифракционна вълна от първия ред, но кривината и е обратна на кривината на разходящата вълна и затова се нарича спрегната вълна.

Холограмата обикновено създава два образа. Единия от тях недействителен и се получава на същото място, на което се е намирал облъчваният предмет. Другия образ е действителен и е разположен от другата страна на холограмата. При определени условия обаче (при осветяване на холограмата вместо с плоска със сферична вълна) образите ще бъдат едновременно или само “фалшиви” или само истински. Затова няма да съвсем точно да наричаме единият от тях “фалшив”, а другият истински. За да се избегне евентуално объркван, прието е единият да се нарича правилен образ (създава се от правилната възстановяваща вълна), а другия спрегнат (образуват от спрегнатата вълна).

Да видим какво се получава, когато холограмата се осветява с лъч с дължина на вълната, по-къса от дължината на звуковата вълна, при използвана при записа на холографската плака. При дифракцията ъгълът, на който се отклонява вълната, се увеличава или намалява, ако отношението на дължината на вълната към разстоянието между пръстените съответно се увеличава или намалява. Ако холограмата се осветява с лъч с по-малка дължина на вълната, отколкото на записващия лъч, дифракционния ъгъл на възникващите вълнови фронтове намалява. Разсейването и събирането на правилната и спрегнатата вълна става по-бавно и затова правилния и спрегнатия образ се разполагат на

по-голямо разстояние от холограмата, но остават на оста, преминаваща през центъра.

Досега ставаше дума само за холограми, получените то прост точков обект. Холографирането на сложни обекти, като статуетки и шахматни фигури, които обикновено се използват за демонстрация в оптичната холография, може лесно да се разбере, ако се приеме, че сложните повърхности на тези предмети са образувани от голям брой точкови обекти. Всяка точка от повърхността образува своя собствена холограма, която се наслагва върху холограмата на останалите точки. Цялостната холограма изглежда като струпване на непонятни прекъснати пръстени и зърноподобни капки. Всъщност всяка съставка на холограмата действа при възстановяването независимо от другите, възпроизвеждайки своя собствена точка от повърхността на образа на обекта.

Тъй като холограмата може да се записва при една дължина на вълната и да се възстановява при друга, ясно е, че тя може да се получава чрез монохроматичните звукови вълни и да се възстановява посредством лазерен лъч. Основния недостатък в случая е, че получения видим образ се изкривява вследствие на разликата между дължините на записващите звукови вълни и възстановяващите светлинни вълни. Елементарна фигура от три точки се разтяга по оста на разпространи на записващия лъч, когато дължината на вълната на възстановяващия лъч е по-къса от тази на записващия. Разтеглянето, или надлъжното увеличение, е равно на отношението между дължините на записващата и възстановяващата вълна. Когато записът се прави във вода и звукът е с честота 1 MHz, при възстановяването посредством червена светлина от хелий-неонов лазер образът се удължава 500 пъти. Това води до привидно (но в действителност несъществуващо) изчезване на тримерния ефект, който прави на наблюдателя такова силно впечатление при възстановяване на обикновената оптична холограма. Понякога се смята, че поради линейното изкривяване образът, получен с акустична холограма, е двумерен. Това не е вярно. За да се подобри качеството на образа, той може чрез устройства, преобразуващи оптичните параметри, (например пространствени филтри), да се фокусира върху различни равнини. Предложение са редица методи за намаляване на изкривяването, но засега нито един от тях не е напълно задоволителен.

В обикновената оптична холография възприемането е тримерно, когато се разглежда правилен образ. Това се дължи главно на ефекта на паралакса, възникващ когато наблюдателя наднича от една или от друга страна и разглежда различни части от холограмата. За всяко положение на наблюдателя видимият а него образ се формира от площта на холограмата, ограничена от диаметъра на зеницата на окото. Следователно при всяко положение на гледане се използва само малка част от цялата повърхност на холограмата. За

оптичните холограми това е достатъчно, тъй като разделителната способност (качеството на образа), която се постига с температура равна на диаметъра на зеницата, е напълно приемлива за вълни с оптични дължини - разделителната способност е свързана пряко с отношението на апертурата към дължината на записващата вълна.

Светлина Част първа

Powered by

Bukvar.bg

Image not found

© 2010-2024