

Experiments of interference with coincident or shifted in time laser pulses

Lozko G. Georgiev, Daniel L. Georgiev
e-mail: lozko.daniel.georgiev@gmail.com
(06 July 2019)

Abstract. This article explores experiments on interference with electromagnetic waves. Some of the problems of the Copenhagen interpretation of quantum mechanics are discussed. The laws of interference with symmetric and asymmetric interferometers are discussed. With a permanently emitting laser source and artificially obtained (cloned) laser pulses. Coincident or shifted in the time when they reach the viewing screen. Two possible models of interference and experimental demonstration of the working model are examined.

Keywords: quantum optics, interference, photon, coherent, wave train, laser pulses

Експерименти на интерференция със съвпадащи и отместени по време лазерни импулси

Лозко Г. Георгиев, Даниел Л. Георгиев
e-mail: lozko.daniel.georgiev@gmail.com
(06 July 2019)

Резюме. В тази статия се разглеждат експерименти на интерференция с електромагнитни вълни. Разглеждат се някои от проблемите на Копенхагенската интерпретация на квантовата механика. Разглеждат се закономерностите на интерференция, при симетричен и несиметричен интерферометър. При постоянно излъчващ лазерен източник и изкуствено получени (клонирани) лазерни импулси. Съвпадащи или отместени по време при достигането им до екрана на наблюдение. Разгледани са два възможни модела на интерференция и експериментално доказване на работещия модел.

Ключови думи: квантова оптика, интерференция, фотон, кохерентност, цуг, лазерни импулси

Съдържание

1. Увод.
 2. За някои проблеми на Копенхагенската интерпретация. 2.1 Интерференчна картина от два различни модела.
 3. Закономерности, свойства и задължителни условия при интерференция и модулация на интензитет с интерферометър на Mach-Zehnder. 3.1. Закономерности и условия при интерференция. 3.2. Закономерности и условия на интерферометър работещ в режим модулация на интензитет.
 4. Реални експерименти при интерференция.
 5. Изводи.
 6. Заключение.
- Литература

абрeвиатура:

КМ - квантова механика

ЕМВ - електромагнитни вълни

КИ - Копенхагенска интерпретация

ВФ - вълнова функция

КВФ - колапс на вълновата функция

ИК - интерференчна картина

МВФ - модел на вълновата функция

МВ - модел на влияние

MCU - микроконтролер

1. Увод

Като рождена дата на квантовата механика (КМ) е приета 1900 година, когато М. Планк за да разреши проблема на така наречената ултравиолетова катастрофа разглежда излъчването на светлината като самостоятелни кванти с дискретна порция енергия. Той въвежда константата h и съответно енергията на всеки светлинен квант е пропорционална на честотата на електромагнитните вълни (ЕМВ),

$$E = h \nu, \quad (1)$$

където E е енергията на фотона, ν е честотата на ЕМВ, а h константа на Планк. По-късно светлинният квант е наречен фотон. През 1905г. А. Айнщайн доказва, че не само излъчването, но и взаимодействието на светлината става с дискретни порции енергия при външния фотоефект. Като енергията на всеки дискретен фотон, може да избие фотоелектрон само, ако енергията на фотона превишава така наречената червена граница. Извършените в следващите години експерименти, на А. Holly Compton, W. Georg Bothe и др. еднозначно доказват, че фотона е електронеутрален и неделим квант с енергия $E = h \cdot \nu$ без маса в покой. Но при така създалата се ситуация, на неделим и електронеутрален фотон с точно определена енергия, се получава несъгласуване с вълновите представи на ЕМВ като дифракция и интерференция, които са експериментален факт.

За да се излезе от това положение, една част от физиците, така наречената Копенхагенска школа създатели на Копенхагенската интерпретация (КИ) и гравитиращите около нея, приемат вероятностния модел и дуалността на фотона със свойствата и на вълна, и на частица. Но това води до нови проблеми за изискващите се свойства, на така приетата вълнова функция (ВФ) на фотона, като: 1. Тайнственото „знание“ на ВФ на фотона за цялата експериментална постановка при образуване на дифракционна или интерференчна картина (ИК). 2. Мигновен колапс на вълновата функция (КВФ). 3. Нелокалност. 4. Както и задължителна неопределеност на пътя на фотона, което условие определя образуването на ИК (вероятност фотона да премине по всяко от рамената на интерферометъра, но без да има информация по кое конкретно рамо преминава фотона).

Докато друга част от физиците, чийто основен представител е А. Айнщайн, вследствие разходимостите които следват от КИ, разглеждат вероятностния модел като непълен. Които разглеждат квантовите обекти и процеси свързани с тях с така наречените реалистични теории. Което е резюмирано с така известното изречение на Айнщайн, „Бог не играе на зарове“, по време на така известните Солвейски конгреси.

В тази статия ще покажем, че за формализма на КИ съществуват редица не решени проблеми, изказани от много физици през годините, както и експериментални резултати които явно не се съгласуват с КИ. Като основно ще разглеждаме, че при интерференчни експерименти на

лазерни импулси отместени по време. Предсказваните резултати за ИК, на така разглежданите по долу два модела, дават различни и противоположни резултати от което експериментално може да се определи работещия модел.

2. За някои проблеми на Копенхагенската интерпретация

Обобщена картина на КМ съгласно КИ, дава М. Дирак, още с първите си работи през 30-те години на миналия век. В [1] той описва интерференцията на фотона, със свойства и закономерности, които трябва да са в сила при вярна и работеща КИ. Цялата същност на КИ и изискванията се свойства за интерференция на ЕМВ, описана от Дирак, може да се види в цитирания по-долу абзац, който за удобство на коментарите сме разделили на две части. В [1] § 3 **Интерференция на фотони**, Дирак пише: *Да предположим, че имаме светлинен сноп, състоящ се от голям брой фотони, който се разделя на два компонента с еднакъв интензитет. Ако приемем, че интензитетът на снопа е свързан с вероятния брой фотони, ще получим, че половината от общия брой фотони ще попадне във всеки от компонентите. Ако по-нататък тези два компонента интерферират, тогава трябва да изискваме фотон от един компонент да взаимодейства с фотон в другия компонент. Понякога тези два фотона ще бъдат унищожени, понякога те ще се превърнат в четири фотона. Това би противоречало на закона за запазване на енергията.*

В случая Дирак прави грешен извод, защото при реални експерименти на интерференция при ЕМВ не се наблюдава унищожение на фотон, а има преразпределение на фотоните от двата снопа, водещо до интерференчни ивици. Такова унищожение, наричано и гасене на вълни (деструктивна интерференция), има само при механични вълни, примерно водни вълни. Където вълна преминала през двоен процеп, в местоположението, където двете части са в противофаза се гасят, а там където са във фаза (суперпозиция) се сумират, но и в случая закона за запазване на енергията не се нарушава. Докато при ЕМВ няма гасене, а преразпределение на фотоните от двата снопа, така че всички фотони попадат върху екрана, т.е. цялата енергия попада върху екрана и съответно наблюдаваме ИК без да се нарушава закона за запазване на енергията.

От което се налага да направим следния извод. Интерференцията на механични вълни и интерференцията на ЕМВ са различни процеси, въпреки някои общи визуални картини които се наблюдават върху екрана (брега). Автоматичното прехвърляне на закономерности и модели със съответния математичен апарат от механични към ЕМВ не винаги е оправдано, а в определени случаи е грешно.

Новата теория, която свързва вълновата функция с вероятностите за един фотон, преодолява тази трудност, като приема, че всеки фотон е частично във всеки от двата компонента. Тогава всеки фотон интерферира само със себе си. Интерференция между два различни фотона никога не възниква. Горепосочената връзка между частици и вълни се отнася не само до светлината, но и според съвременната теория има универсален характер.

Разглежданата от Дирак и КИ, дуалност на фотона със свойствата и на вълна и на частица, решава един проблем, но за сметка на това създава много други като:

1. И до сега, няма физична яснота и общоприето единно мнение по това, какво е ВФ и съответно КВФ, наричан още и редукция на вълновата функция. В [2] Клышко Д. Н. относно формализма на КМ пише: *За съжаление, ефективността на формализма се сблъсква с непреодолими до сега трудности за своята интерпретация. В случая, до сега не е образувана единна представа на смисъла на понятието вълнова функция (ВФ). Аналогична неопределеност съществува и за друго важно понятие - редукция ВФ.*

В [3] Глава 2, Sudbery А. относно вероятностите на КМ пише: *Забележки за вероятностите. Понеже термина вероятност играе фундаментална роля в квантовата*

механика, може да ви изглежда удивително, че ние предполагаме, че читателя е запознат с него, и не даваме строго определение на този термин. Работата е в това, че пълно непротиворечиво определение на термина вероятност не може да се даде.

В [3] § 5.5. **Интерпретации на квантовата механика**, пише: *Девет Интерпретации на квантовата механика. Интерпретациите на КМ - това по същество е отговор на въпроса <<Какво е това вектор на състоянията?>>*

Интерпретациите не могат да се различат по чисто научни съображения - те не водят до различни експериментални следствия;

Нито една от интерпретациите не е общоприета.

2. ВФ на всеки отделен фотон, трябва да колапсира със скорост по-голяма от скоростта на светлината, когато извършваме експерименти и наблюдаваме ИК. Тъй като ВФ, разглеждана като: намираща се едновременно в двете рамена на интерферометъра, всезнаеща за цялата експериментална постановка, трябва да е мигновен процес при самия КВФ. (Коиито изисквания се налагат при така разглежданите експерименти с отложен избор.) В случая проблема се състои в следното. Ако приемем, че ВФ е само математичен апарат без физична реалност, каквато представа за ВФ следва съгласно КИ, то такъв математичен апарат, няма силата да накара така разглежданата, всезнаеща, намираща се навсякъде по двете рамена на интерферометъра ВФ, да колапсира мигновено със съответния краен резултат ИК. Или казано, въпреки, че ВФ не е реална, то тя по някакви неведоми пътища води до реално преразпределение на фотона (фотоните) образуващи ИК.

Ако приемем, че ВФ е физична реалност, то такава физична реалност на ВФ се нуждае от реален преносител. Но такъв реален преносител просто няма, което явно влиза и в противоречие със СТО на Айнщайн за крайната скорост на светлината.

3. Съществуват експерименти когато при намален интензитет на фотоните, наблюдаваните картини на интерференция и дифракция силно се влошават и изчезват когато се достигне до режим единични фотони. Такива експерименти са разгледани в [4], като освен авторския експеримент на Верхозин, са разгледани и предшествващи по въпроса, а и някои от така наречените „по-забравени“ експерименти, като автора прави следния извод: *Експериментите на светлинни снопове със слаб интензитет показват, че за разлика от електроните, дифракцията на фотоните е колективен ефект, възникващи при прехода на колектива от огромно число фотони на ЕМВ. Затова да се преписват вълнови свойства на отделен фотон, възможно, няма смисъл.*

4. Твърдението на Дирак за универсалност на новата теория за всички вълнови процеси, не се съгласува с наблюдаваните експерименти. Както беше разгледано по-горе, интерференция на механични вълни и ЕМВ са различни процеси с различни закономерности. Оказва се, че интерференция на електрони (частици с маса в покой) и интерференция на ЕМВ, са също различни процеси с различни закономерности, въпреки наблюдаваните в някои случаи визуално еднакви картини. Демьянов в [5], извършва серия от експерименти на дифракция и интерференция на ЕМВ и електронни. Извършвани на една и съща експериментална постановка, едновременно и за ЕМВ и за електрони. Стандартната картина на дифракция и интерференция, която се наблюдава при ЕМВ, за електроните е съвсем различна от очакваната. Съществува температурна зависимост на прикриващата преграда (процепа) върху преминаващите електрони и липсва температурна зависимост за фотоните, както и други наблюдавани ефекти, автора пише: *Получените данни показват, че приликите между поведението на електроните и ЕМВ са преувеличени. Целта на тази работа е да се изясни мащаба на това преувеличение.*

Всъщност, различията между електрони и ЕМВ няма как да не съществуват. Фотоните, та били те единични или множество са електронеутрални. Докато електроните са заредени частици и всеки електрон преминал до края на преграда, процеп или в кристална решетка, ще

взаимодействия с електроните на материалната среда, тъй като Кулоновите сили не могат да се изключат по никакъв начин. Съответно автора [5], разглежда възможността интерференчните и дифракционните картини при електронните, да се дължат на рикошетни ефекти и некоректно отчитане на Кулоновите сили, налагащо преразглеждане и повторение на експериментите даващи тези ефекти.

Да отбележим, че разглежданата от Дьо Бройл частица с маса в покой, като вълнов процес в началото на миналия век, решава проблема на ускорително движещия се електрон в атомна система и съответно липсващото фотонно излъчване на ускорения електрон. Но през 1965г. Дьо Бройл в [6] пише следното: *Съвременният начин на интерпретиране на квантовата механика не съвпада със замисъла на основната ми идея. Както вече споменах, тогава мислех, че има истинско съществуване на вълна и корпускула, тясно свързани помежду си, като вълната и частицата са физични реалности, дефинирани по обикновения начин. Излагайки идеите на копенхагенската школа, аз самият съм възпроизвеждал някои от тези твърдения, но днес моите продължителни разсъждения върху тази тема ме карат да мисля, че те са били погрешни.*

Факта, че закономерностите на интерференция и дифракция при ЕМВ, са различни от закономерностите на механичните вълни и квантови частици с маса, налага разглеждането на закономерностите на интерференция и дифракция при ЕМВ самостоятелно, като в тази статия ще разгледаме само свойствата и закономерностите на ЕМВ.

5. Твърдението на Дирак, прието като основно правило в КИ, че интерференция между два фотона никога не възниква, е основен въпрос в тази статия, затова ще разгледаме това твърдение по-подробно. В Нобеловата си лекция 2005г. Р. Дж. Глаубер [7] пише: *Очевидно, Hanbury Brown и Twiss искали да проверят това твърдение и по този повод; те провели експеримент (Hanbury Brown and Twiss, 1956, 1957a, 1957b), за да определят наистина ли двойка фотони могат да интерферират.*

В [8] стр. 55 Глаубер пише: *Да напомним, че интерферометъра на Hanbury Brown и Twiss регистрират падащата светлина на два различни приемника. Следователно, фотоните трябва да участват в интерференционния ефект по двойки, т.е. сигнала на изхода възниква само тогава, когато различни фотони попадат на всеки от двата детектора примерно в едно и също време. Именно тука възниква сериозна дилема: следва ли да се счита за правило твърдението на Дирак за това, че << интерференция между два различни фотона никога не се получава.>>*

В [8] Лекция 16, **Интерференция от независими светлинни снопове.** Глаубер разглежда експеримент, с който може да бъде решен въпроса за интерференция между фотоните от два независими лазера, където пише: *Елементарен тип на експерименталното устройство е показано на Фиг.17. Два независими лазерни източника (или, могат да бъдат, източници от друг тип) L1 и L2 проектират своите снопове в направление близки до паралелност, но леко под ъгъл. Сноповете попадат на екрана Σ като площадките им се препокриват. Ако светлинния интензитет е достатъчно мощен или е възможна регистрация за продължителен период то може да се използва като детектор фотоплака в плоскостта на Σ . Ако условията не са благоприятни за фотография, то може да се използва мозайка от фото детектори в плоскостта на Σ . Във всички случаи в областите на припокриване на сноповете ще се наблюдават интерференчни ивици.*

За съжаление предложения от Глаубер експеримент, не се анализира и извършва като цяло, а като неудобен за КИ се замита под килима, дори и съвременни автори, които разглеждат повдигнатия казус се ограничават само до това, да повторят техническите трудности които автора показва в [8]. През 60-те години на миналия век е нямало лазери с достатъчна времева кохерентност, което е основна техническа трудност за реализация на експеримента. Създаден през 1999 г. лазер [9] излъчва във видимия спектър с дължина на вълната $\lambda = 563\text{nm}$. Лазера (виж Фиг.1. от [9]) има ширина на спектъра на излъчване $\Delta\nu = 0.9\text{ Hz}$. Така, че всеки цуг (наричан и вълнов пакет) има съответно време на кохерентност τ ,

$$\tau = 1 / \Delta \nu . \quad (2)$$

И дължина на цуга l ,

$$l = C \tau , \quad (3)$$

където C е скоростта на светлината. По въпроса за τ и l виж литература [10] (Глава 7) и [11] (Глава 4). Реално лазера [9] (или [12] излъчващ в инфрачервения спектър), има времева кохерентност по-голяма от една секунда и дължина на кохерентност по-голяма от една светлинна секунда = $3 \cdot 10^8$ метра. (По-долу за улеснение, при разглеждането на реалните експерименти ще използваме параметрите на лазера [9] и усреднените стойности за $\tau = 1$ секунда времева кохерентност и дължина на цуг $l = 3 \cdot 10^8$ метра.) Така, че два снопа от два независими лазера, примерно [9], ще имат понякога (само когато два кохерентни цуга съвпадат по време) времева кохерентност от една секунда, т.е. при предложението от Глаубер експеримент може да се наблюдава ИК дори с невъоръжено око. Или да направим множество снимки на екрана с време на експозиция ≤ 1 ms (което отговаря на 1000 кадъра в секунда, каквото време на експозиция за приемственост разглеждаме по-нататък в статията), при което по-голяма част от снимките ще са с лош контраст, но някои от снимките ще са с добър контраст на ИК.

2.1. Интерференчна картина от два различни модела

Да направим кратък анализ на резултатите на експеримента разглеждан от Глаубер [8] и Дирак (цитата по-горе от [1]), където разглеждат аналогична експериментална постановка. За да наблюдаваме (снимаме) върху екрана ИК и при двамата имаме еднакви условия за интерференция като: два снопа с равен брой фотони (еднакъв интензитет, доколкото това е възможно технологично), еднаква поляризация между двата снопа, кохерентност между двата снопа (при Глаубер тази кохерентност е случаен процес и за ограничено време) и задължително пресичане на двата снопа в пространството под малък ъгъл преди да попаднат върху екрана. Ако не изпълним условието за пресичане на двата снопа в пространството, то няма да наблюдаваме ИК, а върху екрана ще наблюдаваме Гаусово разпределение (за лазерен източник при сноп с напречен размер много по-голям от λ).

Съгласно КИ фотона интерферира сам, защото при разделянето на основния сноп на два снопа с равни интензитети, примерно с полупрозрачно огледало. За всеки фотон, от множеството в снопа, пътя на фотона (или рамото по което минава фотона) остава неопределен, условие изисквано съгласно КИ. Съответно ВФ на фотона (или самия фотон според някои интерпретации) се намира едновременно в двете рамена на интерферометъра, докато върху екрана не настъпи КВФ и наблюдаваме крайния резултат ИК. В случая проблема за КИ е следния. Всеки фотон от светлинен източник се излъчва и взаимодейства като неделима дискретна порция енергия. Експериментален факт е, че всеки фотон, от множеството фотони на снопа, след полупрозрачното огледало преминава само по едното рамо на интерферометърът. Но, след полупрозрачното огледало всеки фотон „придобива“ задължителните вълнови свойства разглеждани чрез ВФ. Като самата ВФ не е реална физична величина, а само представа за вътрешно съгласуване на КИ, но въпреки това, ВФ „определя“ преразпределението на фотоните върху екрана за получаване на ИК. За удобство, нека наречем представата на КИ, като моделът на вълновата функция (МВФ).

Съгласно постановката на Глаубер от [8], двата лазера са независими и необвързани по никакъв начин. Като в случая, пътя на фотона, или множеството фотони в снопа на всеки лазер, е определен, т.е. в случая „придобитите“ свойства на фотона след полупрозрачното огледало

изисквани съгласно МВФ не могат да се изпълнят. Но въпреки това наблюдаваме ИК, когато е изпълнено условието временна кохерентност между двата независими лазера.

От изброените по-горе условия и при Дирак и при Глаубер, водещи до краен резултат ИК, имаме задължителното условие пресичане на двата снопа в пространството под малък ъгъл. От което следва, че при това задължително пресичане на двата снопа, съществува възможността фотоните от единия сноп да влияят на фотоните от втория сноп, така че да получим преразпределение на фотоните с краен резултат ИК. За удобство, нека наречем представата за такова влияние между фотоните от двата снопа, като модела на влияние (МВ). Основна цел в тази статия е експериментално доказване на ефектите следствие от МВ.

Всъщност експеримента на Глаубер въпреки техническите проблеми явно доказва МВ. (В случая се налага да направим уточнение - въпреки че предложенията от Глаубер в [8] експеримент доказва МВ, то обяснението и разглеждания резултат не е на основа влияние между сноповете съгласно МВ, а като основа се използва и разглежда времева корелация между фотоните, за нелазерна светлина. Която корелация със съответните свойства, търпи развитие за самия автор за лазерна светлина, както пише по-късно в [7].)

Основната идея в тази статия е да се разгледа експеримент, където има условия за ИК и за двата модела (и за МВФ и за МВ), но да се наблюдава ИК само при определени случаи, даваща еднозначно доказателство кой модел е верен и работещ. Кратка работна хипотеза за физичната същност на така нареченото влияние, е дадена в края на статията.

3. Закономерности, свойства и задължителни условия при интерференция и модулация на интензитет с интерферометър на Mach-Zehnder

В тази точка ще разгледаме накратко основните свойства, уредите и задължителни условия при интерференция и модулация на интензитета, необходими за конкретно разглежданите експерименти в следващите точки.

Обикновено разглеждаме така наречения светлинен сноп състоящ се от фотони и ЕМВ, като за улеснение приемаме, че ЕМВ вълни са с плосък фронт и снопа има реален напречен размер много по-голям от λ . Под представата ЕМВ, разбираме периодично излъчвани и разпространяващи се във вакуума фотони, неделими и електронеутрални, със зададена посока и поляризация. Примерно постоянно излъчващ идеализиран едномодов лазер с мощност 1W, дължина на вълната $\lambda = 500 \text{ nm}$ и честота $\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, излъчва фотони с енергия $E_f = 2,481 \text{ eV}$, съгласно (1). За единица време лазера ще излъчи $\approx 2,515 \cdot 10^{18}$ фотона. Като във всяко едно периодично излъчване на ЕМВ се излъчват по ≈ 4192 фотона. В случая трябва да се отчита, че фотоните задължително трябва да бъдат цяло число, като при реалните лазери има известна минимална флуктуация на броя фотони. Под интензитет (или плътност на потока фотони) трябва да разбираме броя фотони, излъчени или детектирани за единица време или за времето на едно периодично излъчване на лазера, всяка друга представа за интензитета в определени случаи може да се окаже грешна. (За удобство и по-нататък ще пресмятаме и ползваме стойностите за $\lambda = 500 \text{ nm}$, тъй като и реалния лазер [9] излъчва също във видимия спектър $\lambda = 563 \text{ nm}$.)

3.1. Закономерности и условия при интерференция

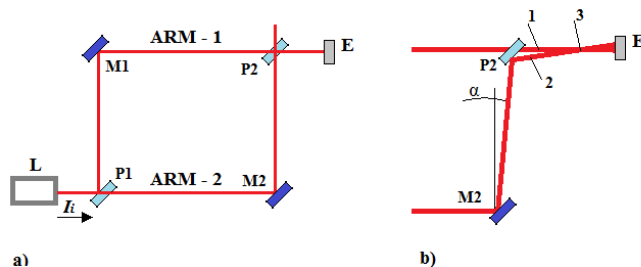
За наблюдаване на ИК на ЕМВ се използва интерферометрична система, която обикновено включва източник на ЕМВ, интерферометър и екран. Когато се нуждаем от пълен количествен анализ или ИК се реализира за кратко време, екрана можем да заменим с фото плака или CCD

камера. Като вместо наблюдение, снимаме, запаметяваме ИК, за по-късно сравняване, измерване и анализи към ново получени ИК, като използваме стандартна техника [13, 14, 15].

От различните видове интерферометри които съществуват, най-подходящ е интерферометърът на Mach-Zehnder, който има следните предимства: може да работи в режим на интерферометър или в режим модулация на интензитета (оптичен превключвател), има два изхода, двете рамена могат да бъдат разделени на разстояния без ограничения, не формира отразени вълни към източника. (Последното предимство е особено важно при работа с единични фотони или импулси, където отразените ЕМВ (фотони) не се отчитат правилно при експерименти на времева корелация между фотоните и в някои случаи се тълкуват като доказателство за верността на КИ). Интерферометърът може да бъде конфигуриран по различни начини в зависимост от изискването за конкретна експериментална постановка [10, 16].

На Фиг. 3.1. а) е показан симетричен интерферометър на Mach-Zehnder. Лазера - L излъчва ЕМВ с интензитет I_i към полупрозрачно огледало P1, което дели лазерния сноп по интензитет. Интерферометърът има равни рамена ARM - 1 = ARM - 2, огледалата M1 и M2 са отразяващи. Огледало P2 е също полупрозрачно и дели интензитета към два изхода, в случая използваме само хоризонталния по чертежа. Съответно върху екрана - E имаме специфичното разпределение на фотоните, т.е. ИК със съответните закономерности на интерференчни максимуми и минимуми (виж фиг. 3.(b) от [17], долу двете снимки).

Задължителни изисквания за наблюдаване на ИК, т.е. интерферометърът да работи като интерферометър е двата лазерни снопа да сключват малък ъгъл преди да достигнат до екрана - E, в [10] (Глава 7) са разгледани различни конфигурации за постигане на нужния ъгъл. На Фиг. 3.1. б) е показан така наречения задължителен малък ъгъл - α между огледала M1 и M2 за работа като интерферометър, за нагледност ъгъла - α е увеличен. Известно е, че контрастна ИК се получава само при пресичане в пространството на два кохерентни лазерни снопа с равен интензитет и еднаква поляризация. Това условие е постигнато в точка - 3 Фиг. 3.1. б), където става преразпределението на фотоните и те достигат до екрана като ИК.



Фиг. 3.1. Симетричен интерферометър на Mach - Zehnder. а) Принципна схема на интерферометъра. б) Задължителен малък ъгъл- α между огледала M1 и M2, за нагледност ъгъла- α е увеличен. С цифри -1 и -2 са показани точки от лазерните снопове. С цифра -3 е показана точка - 3 където става пресичането и преразпределение на фотоните.

Ако поставим в двете рамена на интерферометъра, примерно в точка - 1 и точка - 2, които са преди точка - 3, по едно полупрозрачно огледало и насочим отразените снопове към втори екран. (Втория екран с цел да не усложняваме не е показан на чертежа.) То тогава, всеки от отразените снопове сам няма да дава ИК и съответно, ако за тези два снопа осигурим пресичане ще наблюдаваме ИК. Но, ако разположим едно полупрозрачно огледало след точка - 3 и насочим отразения сноп към втори екран, то ще наблюдаваме ИК. Следователно, преразпределението на фотоните със съответния краен резултат ИК, се извършва в пространството в така показаната точка - 3 от Фиг. 3.1. б). Така разглежданата точка - 3 не трябва да се разглежда като математическа представа, тъй като тя има съвсем реални размери определени от напречния размер на лазерните снопове, ъгъла на пресичане на сноповете и параметрите за конкретна експериментална постановка.

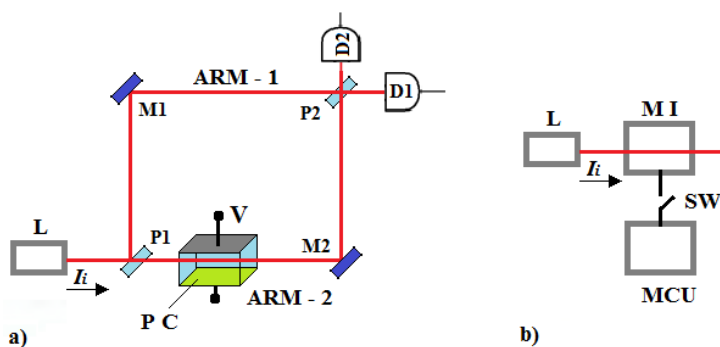
Ако закрияем един от сноповете с непрозрачен екран (примерно в точка - 1), т.е. до екрана достига само единия от сноповете, то ИК няма да се наблюдава, а ще наблюдаваме стандартно

Гаусово разпределение на фотоните. Обяснението на такъв резултат, съгласно МВФ е: определен е пътя на фотона, определено е рамото на интерферометъра по което преминава фотона. Докато съгласно МВ, обяснението е: липсва единия сноп, съответно няма условия за влияние между двата снопа в така разглежданата точка - 3.

3.2. Закономерности и условия при интерферометър работещ в режим модулация на интензитет

Ако е изпълнено условието двата снопа да са успоредни, то интерферометърът на Mach-Zehnder работи в режим модулация на интензитета. Съответно, вместо ИК, ще наблюдаваме Гаусово разпределение на фотоните, така наричаната нулева ивица, виж фиг. 3(b) от [17] снимката горе.

На Фиг. 3.2. а) е показан симетричен интерферометър на Mach-Zehnder с успоредни снопове, работещ в режим модулация на интензитета. Ако ЕМВ от двата снопа достигат до второто полупрозрачно огледало с еднаква фаза, то на двата изхода на интерферометъра, на двата фото диода D1 и D2 ще измерим равен интензитет. Но, ако по някакъв начин, променим фазата на единия сноп (променим оптичния път), интензитета примерно на хоризонталния изход ще се повиши и съответно със същата стойност, интензитета на вертикалния изход ще намалее. Като при зададена фазова разлика целия интензитет от двете рамена ще получим само на единия изход, т.е. в случая интерферометърът на Mach-Zehnder работи в режим модулация на интензитета като оптичен превключвател. Промяна на фазата между двата снопа, може да стане с удължаване или скъсяване на едно от рамената с помощта на микрометричен винт, който начин е подходящ за първоначална настройка, но процеса е механичен и промяна на фазата е сравнително бавна. За бърза промяна на фазата може да се използва ефекта на Кер или Покелс [18] (Глава 20). На Фиг. 3.2. а) е показан интерферометърът на Mach-Zehnder работещ в режим модулация на интензитета, като в рамо ARM - 2 е поставена клетка на Покелс - РС със съответните управляващи електроди. Когато на електродите се подаде управляващо напрежение, то променя оптичния път и фазата на лазерния сноп, като по този начин коефициента на пропускане на прибора, за определен изход е функция на приложеното напрежение. По този начин интерферометърът може да работи като оптичен превключвател.



Фиг. 3.2. а) Принцип на работа на интерферометъра на Mach-Zehnder с успоредни снопове, работещ като модулатор на интензитета. б) Блокова схема, управлявана чрез режим MCU. За получаване на постоянен лазерен сноп, когато ключа SW е изключен. Или лазерни импулси, когато ключа SW е включен.

На Фиг. 3.2. б) е показана блокова схема комбинация от; лазера - L, модулатор на интензитета работещ като оптичен превключвател - M1 и микроконтролер - MCU управляващ M1 чрез приложено напрежение. Предимствата на MCU е, че можем да задаваме времена и периодичност на импулси по така известния принцип в електрониката широчинно импулсна модулация - PWM. Когато ключа SW е изключен, то на хоризонталния по чертежа изход на M1 имаме непрекъснат лазерен сноп, а когато ключа SW е включен, имаме импулси с параметри задавани от MCU. Тази

блокова схема [Фиг. 3.2. б](#)), с която можем да получим непрекъснат лазерен сноп или нужните ни импулси, ще използваме във всички разглеждани по долу експерименти.

4. Реални експерименти при интерференция

В тази точка ще разгледаме експерименти с които може еднозначно да се определи, кой модел, МВФ или МВ е верен и работещ. За удобство и логическа последователност разглеждаме експериментите като различни варианти, като за основа използваме класически експеримент за интерференция, който надстройваме за конкретното разглеждане в следващите варианти.

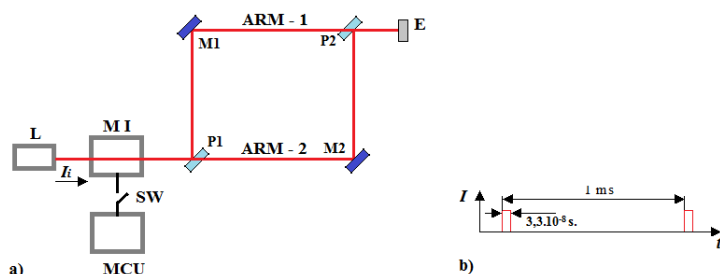
За оценка на контраста или видимостта на интерференционната картина, А. Michelson въвежда параметъра V за видимост на ИК.

$$V = I_{\max} - I_{\min} / I_{\max} + I_{\min}, \quad (4)$$

където I_{\max} и I_{\min} е максимална и минимална осветеност (интензитет) на интерференционните ивици (линии). Ако, източникът е монохроматичен, а другите оптични пособия на интерферометъра [Фиг. 4.1. а](#)) са идеализирани, то видимостта на ИК ще е $V = 1$ съгласно (4). Но в случая използваме реален лазер, реални оптични пособия, така че видимостта на ИК за симетричен интерферометър на Mach-Zehnder [Фиг. 4.1. а](#)), ще е близка, но по-малка от единица (виж [10] глава 10, [11] глава 4). Но в случая, примерно със съвременния лазер [9], ще имаме най-контрастната реална ИК с максимална видимост, която може да се наблюдава по принцип, която условно ще наречем и разглеждаме като V_{\max} .

В случая, тъй като по условие експериментите за различните варианти, които ще разгледаме се изпълняват на една и съща експериментална постановка (когато това е възможно), а времето за експозиция при снимане на ИК е еднакво. Имаме приемственост (пълна или частична), така че можем да използваме V_{\max} като еталон за сравняване. Наблюдаван, сниман при един от вариантите на експеримента към друг вариант, като използваме стандартна техника [13, 14, 15].

Вариант - 4.1. На [Фиг. 4.1. а](#)) е показана експериментална постановка на симетричен интерферометър на Mach-Zehnder, с равни рамена ARM - 1 = ARM - 2. При вариант - 4.1 ключа SW не е включен и на входа на интерферометъра имаме постоянно постъпващ лазерен сноп, което по принцип е стандартна работа на интерферометъра. Съответно върху екрана ще наблюдаваме ИК с видимост V_{\max} . По условие, за да можем да сравним видимостта V на ИК към другите варианти снимаем ИК.



Фиг. 4.1. а) Симетричен интерферометър на Mach-Zehnder с възможност за работа в режим MCU. б) Време диаграма на лазерните импулси при включен ключ SW. Продължителност на импулса $3,333 \cdot 10^{-8}$ s и периодичност на импулсите 1ms.

Друг ефект, който можем да наблюдаваме е изместване на максимумът на ИК, спрямо определен маркер върху екрана, при промяна фазата на ЕМВ на единия сноп. Което се състои в следното, ако променим дължината примерно на рамо ARM - 2 (оптичния път в рамото) на

интерферометъра с разстояние равно на $\lambda/2$. (Която промяна може да се извърши с микрометричен винт, въведен още от Майкелсон, не показан върху фигурата). То максимум от ИК, намиращ се върху определен маркер върху екрана, ще се измести от маркера, а на неговото място ще се наблюдава минимум от ИК. Ефекта на изместване местоположението на максимумът, ще следим и в следващите разглеждани варианти, тъй като фазовата разлика е фундаментална закономерност влияеща на ИК.

Вариант - 4.2. И при този вариант на експеримента използваме същия симетричен интерферометър на Mach-Zehnder [Фиг. 4.1. а\)](#), но в този вариант ключа SW е включен. В случая, от MCU постъпват правоъгълни електрически импулси, които управляват MI, т.е. MI работи като оптичен превключвател и на изхода му имаме зададените от MCU лазерни импулси. Съответно, на входа на интерферометъра има постоянно постъпващи лазерни импулси с периодичност 1ms и продължителност на всеки импулс $3,333 \cdot 10^{-8}$ s [Фиг. 4.1. б\)](#). След полупрозрачното огледало P1, всеки един от периодичните импулси, се разделя по интензитет, така че във всяко рамо на интерферометъра има еднакви като продължителност и интензитет импулси (наричани за удобство клонирани лазерни импулси). Периодичността и продължителността на лазерните импулси са подбрани с цел да има приемственост със следващите варианти, както и да са удобни за анализ и пресмятане. Като единственото условие е продължителността на импулса (или импулсите при другите варианти) да е по-малко, от времето за което светлината изминава разстоянието в рамото на интерферометъра.

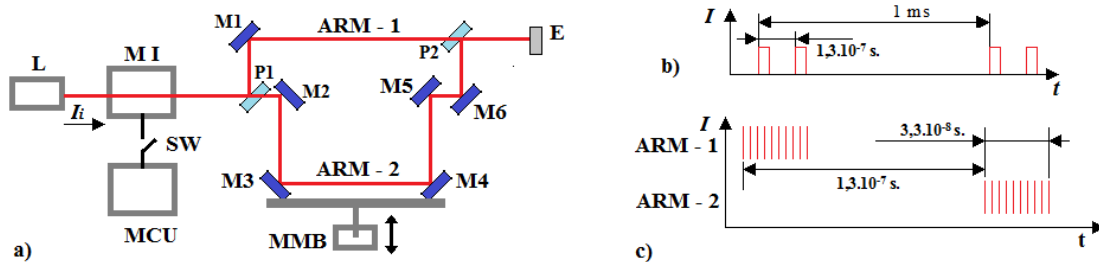
За да можем да сравним видимостта V на ИК към другите варианти, по условие снимаем ИК синхронизирано по MCU импулса с периодичност 1ms (1000 кадъра за секунда) и време на експозиция $t \leq 1$ ms. По този начин на синхронизация, на всяка снимка на ИК за времето на експозиция ще се заснеме само един от периодичните импулси от [Фиг. 4.1. б\)](#).

Това, че до екрана пристигат импулси, вместо постоянно излъчване от лазера, ще намали видимостта на ИК спрямо вариант - 1 която приехме за основа. Но тази разлика ще е минимална и в случая за удобство можем да разглеждаме видимостта на ИК за вариант - 4.2 като V_{max} . Ако променим дължината на рамо ARM - 2 с $\lambda/2$, то максимума ще се измести.

Вариант - 4.3. На [Фиг. 4.2. а\)](#) е показан несиметричен интерферометър на Mach-Zehnder, с възможност за работа в режим MCU. За разглеждания случай, а и с цел приемственост за всички варианти е подбрана следната несиметричност, рамо ARM - 1 е дълго 90 m, рамо ARM - 2 е дълго 130 m, а несиметричността на интерферометърът е 40 m.

На [Фиг. 4.2. а\)](#) е показан така наричания микрометричен винт ММВ, с който можем да променяме дължината на рамо ARM - 2 с $\lambda/2$, като изместваме едновременно отразяващите огледала M3 и M4, закрепени заедно на отделна стойка от останалата част на интерферометъра. Огледала M2, M5 и M6 са отразяващи и чрез тях постигаме необходимата несиметричност, а останалите огледала са аналогични на предните варианти. Освен несиметричност на рамената, останалите параметри на експерименталната постановка са еднакви с досега разглежданите варианти.

Да разгледаме вариант - 4.3 при, който ключа SW е изключен. Видимостта на ИК вследствие, че $ARM-1 \neq ARM-2$ ще е по-лоша от V_{max} , която приехме за основа. Ако отбележим видимостта при несиметричния интерферометър с V_{nes} , то $V_{max} > V_{nes}$. И в случая с приближение можем да определим стойността на V_{nes} , като отношение на дължината на несиметричност на интерферометъра от 40m, към дължина на цуга l (2), (3) на лазера [9]. В литератури [10] глава 10, [11] глава 4, са разглеждани основните закономерности за видимост V на ИК при квази монохроматични източници и несиметричност на рамената, което е сложен процес, а и за случая не се нуждаем от пълно разглеждане. В случая ще се ограничим само до $V_{max} > V_{nes}$ и възможността да сравняваме резултатите на снимка на ИК за вариант - 4.3, към другите варианти които сме снимали. Съответно, ако променим дължината на ARM-2 на интерферометъра [Фиг. 4.2. а\)](#) посредством ММВ с $\lambda/2$, то максимума ще се измести.



Фиг.4.2. а) Несиметричен интерферометър на Mach-Zehnder с възможност за режим MCU. б) Време диаграма с включен ключ SW. На изхода на интерферометъра двойка клонирани лазерни импулси с периодичност 1ms и закъснение между импулсите от $1,333 \cdot 10^{-7}$ s . в) Графично показана една двойка клонирани лазерни импулси на ЕМВ (вертикалните линии като плоски ЕМВ), преминали по-късото рамо ARM-1 и дългото рамо ARM-2. Като всеки от импулсите има продължителност $3,333 \cdot 10^{-8}$ s и време на закъснение между двата импулса от $1,333 \cdot 10^{-7}$ s.

Вариант - 4.4. При вариант - 4.4 използваме същият несиметричен интерферометър на Mach-Zehnder Фиг. 4.2. а), но с включен ключ SW. На входа на интерферометъра има постоянно постъпващи лазерни импулси с периодичност 1ms и продължителност на всеки импулс $3,333 \cdot 10^{-8}$ s (както при вариант - 4.2). Полупрозрачното огледало P1 дели интензитета (броя фотони) на входящия импулс по равно в двете рамена на интерферометъра. Но вследствие на несиметричността от 40 м, всеки от лазерните импулси достига до екрана по различно време, като импулса преминал по ARM - 2 ще закъснее спрямо импулса преминал по ARM - 1 с $1,333 \cdot 10^{-7}$ s, както графично е показано на Фиг. 4.2. б), в). Така, че на изхода на интерферометъра имаме два клонирани лазерни импулса, еднакви като продължителност и интензитет. Но отместени, закъсняващи по време, при достигането им до екрана и съответно преминаващи по различно време в така наречената точка - 3 Фиг. 3.1. б). Следователно, условието за влияние няма да е изпълнено и съответно няма да наблюдаваме ИК, съгласно МВ, т.е. видимостта на ИК за вариант - 4.4 ще е $V = 0$. Докато, съгласно МВФ, ИК задължително трябва да се наблюдава, защото са изпълнени всички условия изисквани от КИ. Като, ако направим аналогия с вариант - 4.3, където имаме категоричен експериментален резултат виж литератури [10, 11], то трябва да наблюдаваме ИК с видимост V_{nes} , съгласно МВФ и за вариант - 4.4.

При разгледаните варианти - 4.1, 4.2 и 4.3, от крайните резултати, където винаги имаме ИК, не може да се определи кой от моделите е верен. Защото условията за интерференция са изпълнени и за двата модела. Но в случая за вариант - 4.4 условието за влияние не е изпълнено, съответно от двата разглеждани модела, следват (се предсказват), два напълно различни и противоположни експериментални резултата за ИК. Следователно, от експерименталния резултат на ИК при вариант - 4.4, можем еднозначно да определим кой от двата модела, МВ или МВФ е верен и работещ.

По условие и за вариант - 4.4, за да можем да сравним видимостта V към другите варианти, снимаем екрана синхронизирано по MCU импулс с време на експониране $t \leq 1$ ms (както при вариант - 4.2). Съответно, ако променим дължината на ARM-2 с $\lambda/2$, то върху екрана няма да наблюдаваме изместване на максимум, съгласно МВ, защото максимуми липсват. Докато, съгласно МВФ, ИК и изместване на максимума задължително трябва да се наблюдава.

Вариант - 4.5. Целта на експеримента, във вариант - 4.5 Фиг. 4.3 е да получим четири клонирани лазерни импулса. Като два от импулсите да съвпадат по време, за които да е изпълнено условието за влияние, разглеждано съгласно МВ. Докато, другите два импулса, не съвпадат по-време помежду си или с двата съвпадащи, за които условието за влияние няма да е изпълнено.

На **Фиг. 4.3. а)** са показани два последователно свързани несиметрични интерферометъра на Mach-Zehnder, Interferometry - 1 и Interferometry - 2. Двата интерферометъра имат несиметричност и размери еднакви с интерферометъра от **Фиг. 4.2. а)** (варианти 4.3 и 4.4). Но Interferometry - 1, работи в режим модулация на интензитета и настройка на фазовата разлика между сноповете, с помощта на ММВ, за 50% интензитет на двата изхода (тази настройка на интензитета използваме с цел приемственост и в случая използваме само хоризонталния изход).

Кратко отклонение. << Налага се малко отклонение от основното разглеждане. Освен чрез наблюдение на ИК, верността на МВ или МВФ може да се докаже, ако измерваме промяна на интензитета между двата изхода на интерферометър на Mach-Zehnder работещ в режим като модулатор на интензитета. За случая, можем да използваме Interferometry - 1 от **Фиг. 4.3. а)**, който работи в такъв режим, като използваме и вертикалния му изход (който не е показан на чертежа). Същността на което е следната, вместо изместване на максимум при промяна на дължината на АРМ - 2 с $\lambda/2$, ще наблюдаваме промяна на интензитета между двата изхода на интерферометъра работещ в режим модулация на интензитета. Като, съгласно МВ, когато лазерните импулси съвпадат по време (аналогично на разгледания варианти - 4.2) промяна на интензитета между двата изхода ще има, а когато лазерните импулси не съвпадат по-време (аналогично на разгледания варианти - 4.4) промяна на интензитета между двата изхода няма да има.

Да отбележим, че към т.н. вертикален изход на Interferometry - 1, можем да включим трети допълнителен интерферометър работещ също в режим модулация на интензитета, като по този начин ще имаме логическа приемственост на експерименталната постановка към разгледания вариант - 4.5 с четири импулса за наблюдаване на ИК. Като в случая, когато е поставен т.н. трети допълнителен интерферометър, работещ в режим модулация на интензитета, то на изходите му ще измерваме промяна на интензитета. За съвпадащите лазерни импулси, при промяна на фазата с $\lambda/2$ чрез ММВ (аналогично на разгледания варианти - 4.5. а). Съответно, няма да има промяна на интензитета, за не съвпадащите лазерни импулси, при промяна на фазата с $\lambda/2$ чрез ММВ (аналогично на разгледания варианти - 4.5. б).

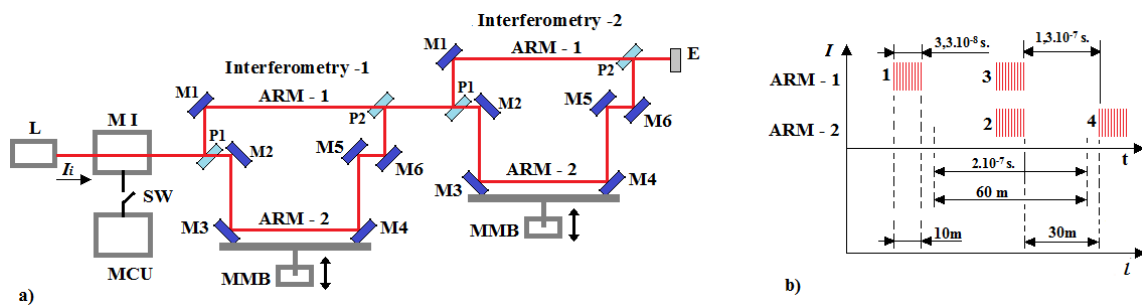
(Да отбележим, че пълното разглеждане на вариант - 4.5 за наблюдения на ИК, следва по-надолу в текста, затова е препоръчително, първо цялостно разглеждане на вариантите с интерференция, а после да се разглежда т.н. кратко отклонение, относно промяната на интензитета между двата изхода, за което неудобство моля за извинение.)

Съответната промяна на интензитета между двата изхода, за така наречения трети допълнителен интерферометър, можем да измерваме с осцилоскоп, което технологично е по-удобно. По този начин за съвпадащите импулси, можем едновременно да наблюдаваме както ИК на изхода на Interferometry-2 **Фиг. 4.3**, така и да измерваме промяна на интензитета между двата изхода, в случай, че е поставен така наречения трети допълнителен интерферометър.

Освен това, при измерване промяна на интензитета между два изхода имаме възможността да изследваме. Продължителността на конкретен цуг, промяна на фазата между два поредни цуга и процесите свързани с тази промяна, тъй като до сега, доколкото ми е известно, изследване на тези параметри експериментално няма. Но в случая се налага разглеждането на повече варианти и частните им случаи, от което основната идея относно влиянието ще се усложни значително, затова измерването на промяна на интензитета между двата изхода разглеждаме само информативно и накратко в тази статия. >>

Втория, Interferometry - 2 от **Фиг. 4.3**, работи в режим на интерференция и е еднакъв с интерферометъра от **Фиг. 4.2. а)**, като в сила са съответните параметри и закономерности разглеждани за вариант - 4.4. При така свързаните два последователно несиметрични интерферометъра и включен ключ SW, то на изхода на Interferometry - 2 ще имаме 4 клонирани импулса, както графично е показано на **Фиг. 4.3. б)**. Защото, на изхода на Interferometry - 1 имаме два клонирани импулса, които се клонират отново в Interferometry - 2 и на изхода му вече имаме 4 импулса.

Съвпаденията и разминаването по време, на импулсите се получава по следния начин, логика. Първият, условно наречен избързващ импулс - 1, минава по късите рамена и на двата интерферометъра. Вторият, импулс - 2 е клонинг на импулс - 1, но минава по дългото рамо в Interferometry - 2. Третият, импулс - 3 минава по дългото рамо на Interferometry - 1 и по-късото рамо на Interferometry - 2. Така, че двата импулса (импулс - 2 и импулс - 3, виж Фиг. 4.3. б)) пристигат на изхода на Interferometry - 2 едновременно, тъй като всеки от импулсите минава по едно късо и по едно дълго рамо от двата интерферометъра. Четвъртият, импулс - 4 минава само по дългите рамена и на двата интерферометъра и съответно закъснява спрямо останалите.



Фиг.4.3. а) Два последователно свързани несиметрични интерферометър на Mach-Zehnder с включен ключ SW. Първия Interferometry -1 работи в режим модулация на интензитета, а втория Interferometry -2 в режим интерферометър. б) Време диаграма на четирите клонирани импулси на изхода на интерферометър-2, графично показани като вертикални линии. Долу - по абсциса l , показано като разстояние в метри дължината на импулсите и закъснението им. Както и времето за експозиция 2.10^{-7} s изразено и като дължина в метри 60 m.

Проверка на така разглежданата последователност, продължителност и изместване по време на четирите импулса, както и за импулсите разглеждани при вариант - 4.2 и вариант - 4.4. Можем да извършим, като поставим във всяко рамо на интерферометъра, допълнително по едно полупрозрачно огледало (не показани върху чертежите), а отразените импулси измерваме с фото детектори и осцилоскоп, като използваме за синхронизация импулси от MCU.

Да отбележим, че поставянето на т.н. допълнителни полупрозрачни огледала, няма да наруши видимостта на ИК, която наблюдаваме върху екрана. Както и няма да наруши неопределеността на пътя на фотона, каквото условие за неопределеност е задължително съгласно КИ за наблюдаване на ИК. Защото всеки фотон (от множеството в импулса), отразен от т.н. допълнителни полупрозрачни огледала, ще се детектира (или ще настъпи колапс разглеждано съгласно МВФ), но тези отразени фотони не участват при формирането на ИК наблюдавана върху екрана. Докато, всеки фотон преминал през т.н. допълнителни полупрозрачни огледала, ще участва при формирането на ИК наблюдавана върху екрана, но за преминалите фотони попадането върху екрана (или колапса) се реализира върху самия екран. Всъщност изискването съгласно КИ, да не знаем по кое от рамената на интерферометъра преминава конкретен фотон (от множеството фотони в снопа или импулса) или т.н. неопределеност на пътя на фотона. Не се нарушава за никой от вариантите, т.е. за всеки фотон попаднал или настъпил колапс върху екрана, не можем да определим по кое рамо е преминал. Защото след първото полупрозрачно огледало, условието неопределеност на пътя на фотона, изисквано съгласно КИ е изпълнено. Ако допуснем, че неопределеността на пътя на фотона е нарушена във вследствие, че използваме или измерваме импулсите, каквото разглеждане естествено възниква при анализа на експериментите. То такова нарушение, трябва да е в сила за всички варианти когато използваме лазерни импулси, което явно не е така, защото и при вариант - 4.2 и вариант - 4.5 а) използваме импулси, но въпреки това наблюдаваме ИК.

На [Фиг. 4.3. b](#)) като функция на времето горе по абсцисата t е дадено времето на всеки импулс $3,333 \cdot 10^{-8}$ s, както и времето $1,333 \cdot 10^{-7}$ s на закъсняващия и избързващия импулс спрямо съвпадащите импулс - 2 и импулс - 3. За удобство, долу по абсцисата l е показано като разстояние в метри импулсите и закъснението, както и времето за експозиция - $2 \cdot 10^{-7}$ s при снимане на само съвпадащите по време импулси, изразено като разстояние в метри - 60 m.

При така получените, избързващи, съвпадащи и закъсняващи лазерни импулси, ако направим снимка с време на експозиция $t \leq 1$ ms, каквото време използваме за приемственост. ИК, която снимаме ще има видимост по-лоша от V_{nes} , съгласно МВ, защото интерференцията на двата съвпадащи по време импулси ще се насложи с равномерното разпределение на фотоните от двата не съвпадащи импулси. Докато съгласно МВФ, видимостта на ИК трябва да е V_{nes} , защото и за четирите импулси достигащи до екрана са изпълнени всички условия изисквани от КИ.

Но, ако използваме бързо снимаща камера, синхронизирана по импулс от MCU, с време на експозиция $2 \cdot 10^{-7}$ s отговарящо на $5 \cdot 10^6$ кадъра в секунда. То за всеки импулс от MCU, тъй като до екрана за наблюдение ще достигат импулси които могат да се заснемат самостоятелно, ще имаме три последователни снимки; 1-ва на т. н. избързващ импулс - 1, 2-ра на съвпадащите по време импулс - 2 и импулс - 3, 3-та на т.н. закъсняващ импулс - 4. По този начин имаме възможност да сравним и анализираме видимостта на ИК за съвпадащите и за не съвпадащите лазерни импулси. Като за съвпадащите лазерни импулси има условие за влияние, докато за не съвпадащите условие за влияние няма, т.е. ще имаме категоричен експериментален резултат за верността на единия от двата разглеждани модела. За удобство по долу, разглеждаме резултата за съвпадащи и не съвпадащи импулси отделно.

Вариант - 4.5. а) Да разгледаме вариант - 4.5.а), при който правим снимка само на съвпадащи по време импулс - 2 и импулс - 3 [Фиг. 4.3. b](#)), които достигат едновременно до екрана и съответно преминават едновременно през така разглежданата точка - 3 [Фиг. 3.1. b](#)). Съответно видимостта на ИК ще е V_{max} , както при вариант - 4.2, защото условието за влияние е изпълнено. Всъщност, такъв резултат по принцип не противоречи и на МВФ (ако игнорираме несиметричността).

За да сме напълно коректни към твърдението, че V_{max} от вариант - 4.2 приет като основа за сравняване, ще е равно на V_{max} от вариант - 4.5. а). То лазерните импулси трябва да изминат еднакви разстояния до екрана и за двата варианта. Така, че дължината на интерферометъра [Фиг. 4.1 а](#)), за който не беше дадена стойност за размера му в метри до сега, можем за случая да приемем, като равни на разстоянието което импулсите изминават в двата интерферометъра от [Фиг. 4.3. а](#)).

С цел приемственост за всички варианти, размерите на интерферометрите и нужните ни времена които са подбрани, се определят основно от възможността да съгласуваме времето за експозиция, когато снимаме двата съвпадащи импулса. Разработените фото и CCD камери могат да работят с милиони кадъра в секунда. И в случая, сме подбрали време $2 \cdot 10^{-7}$ s за експозиция при снимане на само съвпадащите импулси (виж [Фиг. 4.3. b](#)), отговарящо на $5 \cdot 10^6$ кадъра в секунда. Но можем да снимаме и в по-облекчен режим, като правим само по-една снимка на съвпадащите импулси, при всеки импулс задаван от MCU, т.е. снимаме с 1000 кадъра в секунда синхронизирано по MCU, но с време за експозиция на всеки кадър $2 \cdot 10^{-7}$ s.

Освен, че видимостта на ИК ще е V_{max} , за съвпадащите импулс - 2 и импулс - 3, то ако променим дължината на рамо ARM - 2 на Interferometry - 2 от [Фиг. 4.3](#) с $\lambda/2$, аналогично на предишните варианти, максимумта ще се измести.

Вариант - 4.5. b) Целта на вариант - 4.5. b) е да се направи снимка, само на импулс-1 или само на импулс - 4, като в кадъра не попадат така наречените съвпадащи импулси. Всички разглеждани времена и начално време за експозиция, аналогично на по-рано разглежданите варианти, са спрямо синхронизацията импулс от MCU. Като се отчита, че импулс - 1 избързва, а импулс - 4 съответно закъснява (спрямо съвпадащите), не сме ограничени от така показаното време за експозиция $2 \cdot 10^{-7}$ s [Фиг. 4.3. b](#)) изисквано при вариант - 4.5. а), т.е. може да се снима при по-облекчен режим когато снимаме само избързващият или само закъсняващият импулс.

Резултатът за ИК на снимки за импулс - 1 или импулс - 4, ще е съгласно закономерностите разгледани при вариант - 4.4, т.е. съвпадение по време в точка – 3 [Фиг. 3.1. б\)](#) и условие за влияние между лазерните импулси няма. Следователно, съгласно МВ, видимостта на ИК за вариант - 4.5. б) ще е $V=0$, както и няма да има изместване на максимум. Докато, съгласно МВФ, видимостта на ИК за вариант - 4.5. б) задължително трябва да е V_{nes} , както при вариант - 4.3. Съответно, ако променим дължината на рамо ARM - 2 на Interferometry - 2 от [Фиг. 4.3](#) с $\lambda/2$, то максимумта ще се измества съгласно МВФ.

5. Изводи

Целта на разгледаните експерименти в четвърта точка, е експериментално да се провери, кой от така наречените два модела, МВФ или МВ е верен и работещ. Съгласно МВ е верен принципа за локалност. Съответно, краен резултат ИК, ще има само при съвпадащи по време лазерни импулси (или снопове) и няма да се наблюдава ИК когато лазерните импулси са отместени (се разминават) по време, в така разглежданата точка - 3 [Фиг. 3.1. б\)](#). Както и изместване на максимума, при промяна на оптичния път в едното рамо с $\lambda/2$, ще има само при съвпадащи по време лазерни импулси. Докато съгласно МВФ, на основа вероятностния модел и дуалността на фотона, съгласно изискващите се свойства на ВФ и КВФ. Съответно резултат ИК, задължително трябва винаги да има, както и изместване на максимума, независимо от това дали лазерните импулси съвпадат или не съвпадат по време в така разглежданата точка - 3 [Фиг. 3.1. б\)](#).

За удобство, тъй като експериментите, някои технически решения и логика се разглеждат по нов начин, то резултатите и параметрите на отделните варианти са показани в [таблица - 1](#). Със знака „X“ във всяка колона е отбелязано активната опция използвана за конкретен вариант.

Таблица - 1. Варианти и резултати на експериментите от точка 4.

Вариант	Симетричен	Несиметричен	Включен ключ SW	Съвпадащи снопове (импулси)	Изместване на максимума	Видимост V на ИК	Не се съгласува с МВФ
4.1	X	-	-	X	X	V_{max}	-
4.2	X	-	X	X	X	V_{max}	-
4.3	-	X	-	X	X	V_{nes}	-
4.4	-	X	X	-	-	$V = 0$	X
4.5. а)	-	X*	X	X	X	V_{max}	-
4.5. б)	-	X*	X	-	-	$V = 0$	X

* вариант с два последователно свързани несиметрични интерферометъра.

Важни в случая са последните 4 колони на които ще направим кратък коментар;

Колона - 5, съвпадащи снопове (импулси): Едновременно в така разглежданата точка - 3 от [Фиг. 3.1. б\)](#), което съвпадение или несъвпадение на импулсите е показателно за верността на единия от моделите.

Колона - 6, изместване на максимума: При промяна на оптичния път в едното рамо с $\lambda/2$. Което, съгласно МВФ винаги трябва да води до изместване на максимум. Докато, съгласно МВ изместване на максимум ще има само при съвпадащи снопове или импулси в така разглежданата точка - 3.

Колона - 7, видимост V на ИК: В тази колона са дадени стойности (запометени, снимани) за наблюдаваната видимост V на ИК, като за основа използваме вариант - 4.1 (или вариант - 4.2) за сравнение, анализ към другите варианти.

Колона - 8, не се съгласува с МВФ: когато резултата за видимостта V на ИК и изместване на максимума не отговаря на изискването на МВФ съгласно КИ.

Конкретно за отделните варианти;

Вариант - 4.1, 4.2 Фиг. 4.1 е стандартна експериментална постановка на симетричен интерферометър, даваща стандартна ИК с видимост V_{\max} . Разглеждането на тези варианти, освен въвеждането на основните закономерности на интерферометрите на която основа надстройваме следващите варианти, се налага основно за да имаме запаметен резултат (снимка) на ИК с V_{\max} , която да използваме за сравнение и анализ към снимките на другите варианти.

Вариант - 4.3 Фиг. 4.2 е експериментална постановка на несиметричен интерферометър с постоянен лазерен сноп на входа. Като в случая, вследствие на несиметричност на двете рамена, то видимостта на ИК е V_{nes} . При промяна на оптичния път в рамо ARM - 2 с $\lambda/2$, за варианти 4.1, 4.2 и 4.3, ще наблюдаваме изместване на максимума.

Вариант - 4.4 Фиг.4.2. b), c) е експериментална постановка на несиметричен интерферометър и включен ключ SW. Експериментът вариант - 4.4 е решаващ за верността на МВФ или МВ. Особено важно в случая е, че въпреки елементарността на вариант - 4.4, двата модела дават напълно противоположни и категорични резултати относно наблюдаваната ИК и изместване на максимума, така че еднозначно може да се отхвърли или потвърди кой модел е верен и работещ.

Цялата същност на разгледаните експерименти и възможността да докажем кой от моделите е работещ се състои в следното. При вариант - 4.3 имаме несиметричен интерферометър и непрекъснати лазерни снопове, съответно имаме условие за влияние между сноповете и върху екрана ще наблюдаваме ИК с видимост V_{nes} . При вариант - 4.4 използваме същия несиметричен интерферометър, но с включен ключ SW. Съответно клонираните лазерни импулси не съвпадат по време в точка - 3 Фиг. 3.1. b) и нямаме условието за влияние, следователно ще наблюдаваме ИК с видимост $V=0$, съгласно МВ. Докато съгласно МВФ, ИК е резултат от интерференцията на всеки отделен фотон (от множеството фотони в импулса или снопа). Следователно съгласно МВФ, ИК и изместване на максимума трябва задължително да се наблюдава и за вариант - 4.4, тъй като са изпълнени всички изисквани условия както и при варианти 4.1, 4.2 и 4.3.

Експериментите вариант - 4.3 и вариант - 4.4 се изпълняват на един и същ не симетричен интерферометър при еднакви условия и за двата варианта, като единствената разлика е, че при вариант - 4.4 ключ SW е включен, съответно, вместо видимост на ИК V_{nes} за вариант - 4.3, ще наблюдаваме ИК с видимост $V=0$ за вариант - 4.4. Кое то може да се наблюдава дори и с невъоръжено око, ако задържаем ключ SW (ръчно или автоматизирано) за по 10 секунди, то и наблюдаваната ИК за двата варианта ще се редува в такт със задържането на ключ SW.

Както беше отбелязано по-рано, с цел приемственост и по-удобен анализ, за всички варианти на експериментите, беше приета определена продължителност на лазерните импулси, дължина на раменете на интерферометрите и периодичност на импулсите. Които не са задължителни, ако се фокусираме само върху вариант - 4.3 и вариант - 4.4, така че могат да се подбират и използват най-подходящите технически параметри при реализация им. Т.е. можем да намалим с един порядък продължителността на лазерните импулси, дължината на раменете на интерферометърът, като съответно и несиметричността намалява с един порядък (за случая става 4 m), а периодичността на импулсите от MCU остава същата, тъй като няма отношение към видимостта V на ИК и изводите.

Експеримента вариант - 4.4 е решаващ за верността на МВФ или МВ, логически елементарен и технически лесно изпълним или казано накратко експеримент като за студенти и може да се извърши във всяка лаборатория по оптика, като не се изискват сложни апаратури. Единствено изискване е лазерът да има времева кохерентност и дължина на цуга многократно надвишаваща несиметричността на интерферометъра. За да имаме достатъчно добра ИК за вариант - 4.3, която да сравним към вариант - 4.4, където съгласно МВ ИК няма да се наблюдава. Докато съгласно МВФ наблюдаване на ИК е задължително, т.е. от двата напълно противоположни резултата,

максималните изисквания за техническите параметри не се налагат. Да отбележим, че ако искаме да извършим пълен качествен и количествен анализ на разглежданите ИК, то задължително трябва да използваме най-добри параметри и за лазера и за останалите пособия, както теоретично разглеждаме в по-голямата част от статията.

Такъв резултат, ИК с видимост $V=0$ за вариант - 4.4, задължително следва и от експеримента на Глаубер [8] разглеждан за двата независими лазера. Всъщност, експеримента вариант - 4.4 частично се изпълнява винаги когато се работи с лазерни импулси изместени по време, налагано при някои режими в експерименталната оптика и спектроскопия. Като резултатите разглеждани в нашия случай ИК с видимост $V=0$, са получавани и наблюдавани от експериментаторите, но без да са правени съответни изводи и анализи. Индиректно потвърждение на верността на МВ, може да се намери при други експерименти и наблюдения на ИК, но в повечето случаи интерпретирани само по логиката съгласуваща се с МВФ.

Да допуснем, че експериментът вариант - 4.4 даде резултат на ИК с видимост V_{nes} , каквото е изискването съгласно МВФ и всички гравитиращи около КИ представи. Такъв резултат, ще потвърди верността на КИ по категоричен начин, тъй като дори при най-успешните експерименти описани в [19] (т.н. за кратко обобщени експерименти тип А. Aspect), „доказващи“ КИ. Резултат с качество на ИК с видимост V_{nes} , със съответния интензитет (брой фотони) не е достигнат, т.е. още една причина експеримента да бъде извършен и анализиран. Всъщност, при експериментите в [19] няма наблюдение на ИК, а на основа времева корелация на детектираните фотони за продължително време се формира ИК. Но и в случая, редица технически параметри са далече от желаното за да приемем експериментите за напълно коректни.

Вариант - 4.5 Фиг. 4.3 е експериментална постановка на два последователно свързани несиметрични интерферометри и включен ключа SW, съответно на изхода на втория интерферометър имаме 4 клонирани лазерни импулса. Като импулс - 2 и импулс - 3 съвпадат по време в така разглежданата точка - 3 Фиг. 3.1. б), за които условието за влияние е изпълнено и съответно ще наблюдаваме ИК с видимост V_{max} (аналогично на вариант - 4.2), такъв резултат се съгласува и с МВФ. Докато, за импулс - 1 или импулс - 4, условието за влияние не е изпълнено и съответно ще наблюдаваме ИК с видимост $V=0$, съгласно МВ (аналогично на вариант - 4.4). Но такъв резултат не се съгласува с МВФ.

Експеримента вариант - 4.5 е технически по-сложен и не е извършван като цяло, но ако изходим от резултатите на вариант - 4.2 и вариант - 4.4 то можем да приемем, че получения резултат ще се съгласува с МВ. Въпреки, че експеримента е по-сложен, той също е реално изпълним, и заслужава да бъде извършен и анализиран като цяло. Тъй като, от един лазерен импулс клонираме четири, а съответната ИК за съвпадащите и за не съвпадащите импулси, може да се обясни с влияние в разглежданата точка -3 Фиг. 3.1. б).

При направени три последователни снимки, то за съвпадащите импулс - 2 и импулс - 3 ще наблюдаваме ИК с видимост V_{max} и попаднал максимум на ИК върху определен маркер на екрана. Но, ако променим дължината на рамо ARM - 2 на Interferometry - 2 с $\lambda/2$, при следващ задаван от MCU импулс и направени нови три последователни снимки, то максимума за съвпадащите импулси ще се измести. Докато за импулс - 1 или импулс - 4, ИК и максимуми не се наблюдават. За удобство, резултатите за вариант - 4.5 са показани отделно в [таблица - 1](#), като за вариант - 4.5.а) разглеждаме само съвпадащи лазерни импулси, а за вариант - 4.5.б) разглеждаме само не съвпадащите или т.н. отместени по време лазерни импулси.

6. Заключение

Един от въпросите и проблеми в КМ, възникнал в началото на миналия век, е въпроса за същността на интерференцията на светлината. Експерименталният факт на наблюдаваната ИК до началото на миналия век, се обяснява с вълновите свойства на светлината. Но с доказването, че

светлината има квантов характер, то тези ново доказани свойства задължително трябва да се съгласуват качествено и количествено с експерименталния факт на интерференция. Обяснението съгласно МВФ (наложен от КИ), е че всеки дискретен фотон, от множеството фотони на интерфериращите снопове в интерферометърът, „придобива“ и „притежава“ свойството и на вълна, и на частица. Но така приетия вълново-корпускулярен дуализъм, наложен за вътрешно съгласуване на МВФ, води до нови разходимости при цялостно разглеждане на същността на интерференция. Разглеждания вълново-корпускулярен дуализъм на фотона, не се приема от Айнщайн, като по този повод той пише на Шрьодингер [20] стр. 527: *Успокояващата философия (или религия?) на Хайзенберг - Бор помага на вярващия да се сдобие с възглавница за спокоен сън. Трудно можеш да го прогонииш от тази възглавница. Нека си полежи. Но тази религия дяволски слабо въздейства върху мен и аз въпреки всичко казвам: Не “Е и v ”, а “Е или v ”. Именно не v , а Е - в крайна сметка именно тази величина притежава реалност.*

Основния проблем е, че фотона се излъчва и взаимодейства като неделима дискретна порция енергия. Експериментален факт е, че всеки фотон, от множеството фотони на снопа, след полупрозрачното огледало преминава само по едното рамо на интерферометъра. Както и попада (или колапсира разглеждано съгласно МВФ) върху екрана, пак като неделима дискретна порция енергия. Но за да се обясни наблюдавания експериментален факт ИК, то съгласно МВФ, се налага изискването, след полупрозрачното огледало на интерферометъра фотона по неведоми пътища да „придобива“ задължителните вълнови свойства. Които вълнови свойства на фотона, разглеждани съгласно МВФ чрез ВФ на фотона, нямат реална физична величина. Но въпреки това, разглежданата ВФ, „управлява“ суперпозиция на нещо загадъчно и недоказано, но водещо до краен резултат ИК.

С разгледаните експерименти на интерференция при ЕМВ, двата модела МВ и МВФ, дават за ИК различен и противоположен резултат за определени варианти (виж [таблица - 1](#)). Като в случая, със сравнително елементарни експерименти може да се докаже работещия модел. Предимството на МВ спрямо МВФ, е че преразпределението на фотоните със съответния краен резултат ИК, става в пространството където двата снопа или импулси се пресичат, т.е. влиянието има локален характер. Като по този начин всички свойства, изисквани и наложени от МВФ за вътрешно съгласуване при обяснението на ИК, като: „разлята“ в двете рамена на интерферометъра ВФ на фотона, със съответния мигновен КВФ и нелокалност, неопределеност на пътя на фотона, както и вълново-корпускулярният дуализъм на светлината, отпадат като ненужни. Следователно, почти 100 годишния спор в КМ между Айнщайн и КИ, може да се реши в полза на Айнщайн, т.е. Бог не играе на зарове.

Кратка работна хипотеза, за физичната същност на така нареченото влияние. Ако квантуваме физическия вакуум (пространството), то вакуума ще е изграден от най-малките клетки с размер съизмерим или по-малък от 10^{-35} m, които за удобство можем да наречем на името на Планк - планкеони. Всеки дискретен фотон пренася енергия и импулс с определена посока, като образно казано фотона „прескача“ от планкеон на планкеон и „възбужда“ всеки планкеон през който е преминал, така че в случая не се изисква фотона да има размер, маса и може да съществува само в движение. Но освен надлъжен импулс (отговорен за т.н. праволинейно, „стандартно движение“ на фотоните във вакуума), всеки „възбуден“ планкеон, като ответна реакция от „преминаващия“ фотон, създава във вакуума локална временна флукутация, кривини в пространството на разстояния по-малки от дължината на вълната. Които кривини в пространството, са отговорни за така нареченото влияние между фотоните. В собствения си сноп при дифракция, а също влияние на фотоните от един сноп върху фотоните от втори сноп при интерференция (когато е осигурено условие на пресичане на двата снопа).

Самата същност на влиянието е обемиста, сложна за разглеждане, при пълен анализ на всички частни случаи за интерференция и дифракция, а и не е цел в тази статия, но можем да използваме като временна работна хипотеза. И в случая се ограничаваме, само до експериментално доказване на ефектите от влиянието между два пресичащи се лазерни снопа или импулси.

Литература

- [1] Dirac P. A. M., *The Principles of Quantum Mechanics*, 4th ed. (Oxford: Clarendon Press, 1958)
- [2] Клышко Д. Н., *Основные понятия квантовой физики с операциональной точки зрения*, УФН 168 975-1015 (1998)
- [3] Sudbery A., *Quantum mechanics and the particles of nature*, Cambridge University Press 1986
- [4] А. Н. Верховзин, *ДИФРАКЦИЯ ФОТОНОВ ПРИ МАЛОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА*, Вестник Псковского государственного университета, Серия Естественные и физико-математические науки –2015г. №7
- [5] Victor V. Demjanov, *Experiments performed in order to reveal fundamental differences between the diffraction and interference of waves and electrons*, arXiv:1002.3880v1 [physics.gen-ph] 20 Feb 2010 (en), arXiv:1002.3880v1 (2010) (ru)
- [6] Луи дьо Броил, *ИДЕИТЕ, КОИТО МЕ ВОДЯТ В МОИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ**, * Експозе, написано през декември 1965 г. Препечатано в *Annates de la Fondation Louis de Broglie*, v. 17, n 3, 1992, pp. 239-255. Превод в списание, *Светът на физиката*, 3/98
- [7] Glauber Roy J. 2006 “Nobel Lecture: *One Hundred Years of Light Quanta.*” *Reviews of Modern Physics* 78 (4) (November 17): 1267-1278. doi:10.1103/revmodphys.78.1267.
- [8] Glauber, R. J. *Optical Coherence and Photon Statistics*, Harvard University Lectures, 1965 (Глаубер Р. *Оптическая когерентность и статистика фотонов* - 1966, Издательство: М.: Мир Год издания: 1966)
- [9] B. C. Young, F. C. Cruz,* W. M. Itano, and J. C. Bergquist , *Visible Lasers with Subhertz Linewidths*, PACS numbers: 42.55.-f, 06.30.Ft, 07.10.Fq, 42.60.Da
- [10] Born M., Wolf E., *Principles of Optics*. 4th ed., "Pergamon Press", London, New York, Paris, 1968
- [11] LEONARD MANDEL, EMIL WOLF, *OPTICAL COHERENCE AND QUANTUM OPTICS*, Cambridge University Press, 1995
- [12] Lifei Wu, Yanyi Jiang, Chaoqun Ma, Wen Qi, Hongfu Yu, Zhiyi Bi & Longsheng Ma, *0.26-Hz-linewidth ultrastable lasers at 1557 nm*, *Sci. Rep.* 6, 24969; doi: 10.1038/srep24969 (2016).
- [13] М. С. Иесин, И. Л. Фабелинский, *ПИКОСЕКУНДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ И ИЗУЧЕНИЕ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ*, УФН 1976 г/10
- [14] Chien Ting Chin, Charles Lance 'e, Jerome Borsboom, Frits Mastik, Martijn E. Frijlink, and Nico de Jong, *Brandaris 128: A digital 25 million frames per second camera with 128 highly sensitive frames*, *REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 74, NUMBER 12 DECEMBER 2003*
- [15] CCD камери, <https://www.phantomhighspeed.com/products/cameras/ultrahighspeed>
- [16] Л. Б. Лиокумович, *ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ*, Санкт-Петербург Издательство Политехнического университета 2007
- [17] Тодорка Л. Димитрова, *Учебни експерименти за природата на светлината** Физика: Методология на обучението 3/4 (2015) 152-164
- [18] B. A. Saleh and M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics* (2007), John Wiley & Sons, ISBN 978-0-4713-5832-9 (en), 978-5-91559-135-5 (ru)
- [19] Aspect A. (2002) *Bell's Theorem: The Naive View of an Experimentalist*. In: *Quantum [Un]speakables*. Springer, Berlin, Heidelberg
- [20] В. Т. Кузнецов, *Айнщайн живот, смърт, безсмъртие*, Наука и изкуство София 1980г (превод от руски)