

Основни научни приноси в дисертацията

Съществените творчески приноси в дисертацията са предимно в приложно-теоретичен аспект и са основа за развитието и оптимизацията на оптични системи в лазерната техника (в областта на пренастройваемите лазери) и в метрологията (в областта на профилометрията, цифровата холографска микроскопия, Фурие-спектроскопията, фотоеластичния анализ и оптичната дозиметрия) като част от физиката на вълновите процеси. В резултат на систематизирания теоретичен анализ са предложени нови елементи и решения и са установени нови свойства. По-конкретно, основните приноси могат да бъдат представени като :

1. Разработени са два нови метода за пресмятане на отражението и пропускането на интерференчен клин на Физо с високо-отразяващи покрития и дебелина на процепа между тях $200 - 500 \mu\text{m}$ при осветяване с пространствено ограничен монохроматичен сноп [A16, C22]. Изведени са изрази за пресмятане на интерференчната картина на произволно разстояние от клина. За въздушен клин на Физо и осветяване с Гаусов сноп е получено аналитично решение. Разработените методи съдържат като граничен случай осветяване с безкрайна плоска вълна и са в съгласие с експерименталните данни и закона за запазване на енергията. На базата на разлагане на комплексната амплитуда на падащия сноп по плоски вълни [A2,A11,C3] е изградена обобщена теория на интерференчния клин за падане на снопа от двете страни на нормалата към повърхността му [A2,A16]. Определена е спектралната селективност на клина на Физо в зависимост от дебелината на процепа, коефициентите на отражение на покритията и ъгъла между тях.
2. За първи път е установена теоретично и експериментално асиметрия в отражението в резонанс при интерференчен клин с различни отразяващи покрития, изразяваща се в това, че отразеният сноп е пространствено изместен спрямо падащия при отражение от страна на покритието с по-малък коефициент на отражение, докато снопът, отразен от страна на покритието с по-висок коефициент на отражение е умалено копие на падащия сноп [A14]. Установено е, че пропускането на такъв клин не намалява монотонно с увеличаване на единия от коефициентите на отражение при фиксирана стойност на другия коефициент, а нараства до изравняване на двата коефициента, след което бележи стръмен спад. Установено е, че ротацията на клина в равнина, перпендикулярна на ръба му влияе съществено върху устойчивостта на интерференчната картина [A16].
3. Доказана е възможността за използване на интерференчен клин за двувълнова генерация [A17] и като елемент за създаване на асиметрия в кръгов резонатор [A15]. Разработен е подход за пресмятане на интерференчната картина на разстояние от клина при осветяването му под ъгъл, при който многократно отразените вълни вътре в него се разпространяват в посока на намаляване на междината му. Описано е теоретично създаването на пренастройваема обратна връзка в пренастройваем лазерен осцилатор-усилвател, в който клинът изпълнява ролята на спектрален селектор и куплиращ елемент

[A12,C21], вследствие на пространственото отместване между отразените снопове в резонанс и извън резонанс и обръщане на интерференчната картина зад фокалната равнина на клин с нееднакви отразяващи покрития. Доказана е възможността с единичен клин на Физо или интерферометър на Фабри-Перо да се селектира тясна линия в широк спектрален диапазон за лазери с широка крива на усилване чрез използване на съвпадането върху честотната ос на поредиците от максимуми на пропускане за два различни ъгъла на падане [A13]. Получени са изрази за спектралното и ъглово отстояние при съвпадането на съседните максимуми и са формулирани изискванията към параметрите на интерферометъра.

4. Обосновано е измерването на дължината на вълната на непрекъснати лазери във фокалната равнина на клин на Физо с отразяващи покрития с коефициент на отражение над 0.5, което гарантира интерференчни ивици с добър контраст. При провеждане на измерването в тази равнина се постига точност 5×10^{-6} [C19].

5. Създадена е теория на оптичното поведение на синусоидална фазова решетка в зоната на Френел [A4,A5,A7,B3] при кохерентно осветяване с плоска вълна [C26] и разходящ сноп [C25]. Теоретично и експериментално е доказана възможността за проектиране на контрастни синусоидални ивици в пространствена област с размери, достатъчни за фазово-отместваша профилометрия на големи триизмерни обекти. Установени са параметрите на решетката, осигуряващи пренебрежим принос на по-високите хармонични, както и постоянен контраст на ивиците [C4]. За първи път поведението на синусоидалната фазова решетка е сравнено с това на синусоидална амплитудна решетка и е доказано по-доброто качество на ивиците, проектирани от фазовата решетка, в близката инфра-червена област. За първи път е проведено профилометрично измерване с този вид решетка.

6. Намерени са систематичните грешки от влиянието на по-висшите хармонични и използването на различни дължини на вълните за четири-вълнова мулти-камерна фазово-отместваша профилометрична система с едновременно проектиране и запис на ивични структури за регистриране на 3D обекти [A1,A10,C5,C8,C29,D2]. Създаден е модел на профилометричната система с отчитане на влиянието на некорелирания спекъл-шум в каналите на системата и на нееднородното разпределение на фоновия интензитет [C23]. Разработена е процедура за извличане на фазата, която включва нормиране на изображенията, отстраняване на фона и редуциране на шума в пространствената и честотната област, която е успешно приложена за обработка на експериментални данни.

7. Доказана е възможността за осъществяване на цифрова фазово-отместваша холографска микроскопска система с четири интерферометъра на Мах-Цендер и четири камери за едновременен запис на фазово-отместени на $\pi/2$ интерференчни картини с помощта на моделиране и обработка на експериментални данни [B1,C24,C28]. Предложен е модифициран фазово-стъпков алгоритъм, който позволява цифрово възстановяване на

обекта при неизбежните изкривявания вследствие наличието на четири канала [C24]. Разработена е процедура за определяне на калибровъчни коефициенти за всеки от каналите. Доказано е, че извличането на фазата се подобрява чрез нормиране и изглаждане на интерференчните картини [C24]. На базата на анализ на методите за цифрово генериране и възстановяване на холограми [A8,C7,C10,C27] са разработени нови подходи за визуализиране на прозрачни микроскопични обекти от холографски данни. Предложено е и експериментално е реализирано оптично възстановяване с помощта на пространствено-светлинен модулатор от облак от точки, построен въз основа на записани холограми, и от фазова холограма на чисто фазов обект с размери 5 μm след корекция с алгоритъма на Gerchberg-Saxton. Осъществено е оптично възстановяване на текстурен обект, гледан през микролеца, възстановена като фазово разпределение от холографски данни.

8. Разработен е теоретично метод за спектрално привързване на лъчението на диоден лазер към атомна линия на поглъщане с използване на модифициран интерферометър на Майкелсън и контролирано нарушаване на амплитудната и фазова корелация на светлинните снопове, интерфериращи в двете рамена на интерферометъра посредством честотно сканиране през контура на линия на поглъщане на вещество, поставено в едно от рамената на интерферометъра [A3]. Установени са условията, при които спектърът на изходното лъчение е привързан към атомната линия на поглъщане и ширината му е от порядъка на използваната линия.

9. Анализирана е чувствителността на Фурие-спектрометър към източниците на шум на базата на Монте-Карло моделиране на измерването на единичен спектър [C12,C15]. Определена е неопределеността на измерването на единичен пик на поглъщане за адитивен шум и шум, който променя формата на записаните интерферограми [C6]. Установено е, че при флуктуации на отместването на подвижното огледало под 20 nm, точността на възстановяване на спектъра е задоволителна, особено при високочестотни флуктуации.

10. Разработена е холографска система, комбинирана с кръгов полярископ, за измерване на изохроматите, изоклините и изопахите [B2,D1] за определяне на механичните напрежения. Създаден е модел на изходния сигнал с отчитане на спекъл-шума чрез пресмятане на комплексната амплитуда на светлинното поле, което се отразява от обекта и преминава през различните поляризационни елементи [C1,C2] и е разработена процедура за редуциране на този шум [C1].

11. Установено е нарушаване на корелацията между геометрията на осветяващия сноп и разпределението на погълнатата енергия в зависимост от оптичните параметри на тъканите за хомогенни и многослойни тъканни модели [C9,C14,C16,C17,C18,D4,D5]. Моделирано е депозиране на енергия в триизмерен трислоен модел на периодонтална лазерна терапевтична система [C11,C20] с диоден лазер с отчитане на реалното

разпределение на интензитета в напречното му сечение. Моделирано е депозиране на енергия в кожна тъкан на базата на трислоен триизмерен модел с включени разсейващ и поглъщащ обект в дермалния слой за осветяване с колимиран и фокусиран в тъканта сноп [C9], както и в микроскопични кръвоносни съдове в подкожния слой, зададени като безкрайни успоредни на повърхността цилиндри на различна дълбочина за дължини на вълните [C11], осигуряващи силно поглъщане в хемоглобина. На базата на този модел са определени границите на депозиране на енергия в сферично туморно образуване в дермалния слой след третиране с конкретни фотосенсибилизатори при облъчване през епидермиса и под епидермиса с помощта на оптично влакно.

12. С помощта на Монте-Карло моделиране е разработена валидационна процедура за количествена оценка на цитотоксичната светлинна доза при фотодинамична терапия *in vitro* на нормални и неопластични клетки [A6,A9,C13,D3] за тест с поглъщане на неутрално червено багрило. Доказано е, че оценката на цитотоксичната светлинна доза може да се построи от единична крива жизнеспособност на клетките-светлинна доза. Определена е повтаряемостта на резултатите чрез моделиране и обработка на експериментални данни. Разработената процедура за отстраняване на фона, която значително подобрява точността на оценката.