

## РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователната степен „доктор”

**Автор на дисертационния труд:** асистент Вани Атанасова Танкова, редовен докторант в Институт по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков”

**Тема на дисертационния труд:** Лазерно индуцирана плазма за изследване на археологически обекти

**Рецензент:** Николай Недялков Недялков, дфн проф. в Институт по електроника „Акад. Е. Джаков”

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

Дисертационният труд разглежда приложението на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма (МСЛИП) за определяне на елементния състав на различни археологически обекти. Той има ясно определена практическа насоченост. Интересът към такива изследвания е оправдан от гледна точка на значителния социален заряд, който те носят. Анализът на археологични обекти определя солидна основа за разбирането и осмислянето на миналото, то е фундамента за развитие на историята като наука, допринася на изучаване и опазване на културното наследство на една нация. В тази връзка темата на настоящата дисертация е актуална, но не и само в социален аспект. Тя е мултидисциплинарна, като обединява различни области, като приложна физика и археология, и история. Предложеният метод, известен още като LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) е модерен подход за слабо инвазивен количествен и качествен анализ. Той е комерсиализиран, като са демонстрирани редица предимства – възможност за анализ на широк кръг материали, бързина, възможност за работа извън лабораторни условия и дистанционна детекция. Тези особености на метода поддържат значителен интерес, като една основна насока е приложения при обекти от културното наследство. Основно предизвикателство тук е получаване на достоверна информация за елементния състав, като анализът не трябва да предизвиква разрушаване или модификация на изследвания обект. В тази връзка, продължава търсенето на оптимални условия, калибровка и анализ на измерванията. Основата на метода е взаимодействието на лазерни импулси с веществото, една комплексна област с все още неизяснени напълно явления и зависимости. В този смисъл, тематиката допринася и за фундаментално разбиране на основни физични процеси.

2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.

В първите две глави на дисертацията е представен обзор на литературата, отнасяща се към тематика ѝ и систематизирана в: преглед на основни методи за качествен и количествен елементен анализ; основите и характеристиките на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма. Този преглед включва основните насоки на тематиката и осигурява необходимата база за ясно формулиране основните проблеми по темата, като и направленията за тяхното решаване. Използвана е литература от 114 източника, част от които са цитирани при анализа на получените резултати. Представеният обзор и съдържанието на този раздел показват познаване на проблема и възможност за аналитична интерпретация.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставените цел и задачи на дисертационния труд.

Основната цел на дисертацията е формулирана ясно: на базата на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма да се получи информация за елементния състав на два типа археологически обекти: бронзови артефакти и пигменти на мазилки, използвани в тракийски гробници. В глава 3 е описан в детайли основния подход. Той се базира на МСЛИП и дава възможност за прецизно качествено и количествено характеризиране на изследваните обекти, като при това анализът води до микроразмерни модификации на образеца, които не се забелязват с просто око. Това е важна особеност, имайки предвид важността на изследваните обекти. Методът, също така, дава възможност за анализ по дълбочина, което е основно предимство и е използвано ефективно в настоящата работа. Резултатите от проведените анализи са количествено сравнени с други методи, което дава пълнота, и възможност за оценка на достоверността на изследването. Предложената методология дава възможност за ефективно изпълнение на поставените задачи и постигане на целта на дисертационния труд.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Изследванията, които имат приносен характер за отразени в глави 4 и 5. В глава 4 са представени резултати от качествен и количествен елементен анализ на бронзови предмети от различни археологически обекти на територията на България – праисторическо селище Балей и некропол, ямно светилище при Малко Тръново, скален комплекс „Глухите камъни“, както и на артефакти от колекцията на Националния археологически институт с музей на БАН. Проведените анализи са базирани на т.н. кинетични серии, при които се анализират усреднени сигнали от 10 спектъра, всеки от които е получен от 30 последователни лазерни импулса. Това дава възможност за получаване на статистически достоверни резултати. Прави впечатление детайлното

описание на методологията на измерванията за определяне на качествения и количествен състав на изследваните образци, което убеждава в достоверност и надеждност на получените резултати. При количествения анализ са използвани сертифицирани образци, с цел калибриране на измерванията. Предприетият подход за измервания съответства на установените практики и гарантира получаването на резултати с точност, необходима за направените изводи. Взети са под внимание ефектите от корозия на повърхността на образците и нехмогенността на сплавта. Предложени са начини за тяхното отчитане и намаляване на влиянието им при получаване на крайния резултат от анализите. За всички изследвани образци са представени процентните съдържания на основните елементи, като във всички случаи са представени и резултати от други, независими анализи- XRF, SEM-EDX, XPS, XRD. Трябва да се отбележи, че анализът на получените резултати за елементен състав е разширен с дискусии относно евентуални методи на производство на образците, както и евентуалната им употреба. Паралелно с анализите на основните елементи на бронза, са анализирани и други елементи. Такъв пример е оценката на наличието на силиций и калий при образците от селището Балеи. Използвайки възможността на МСЛИП за анализ по дълбочина, е определено намаляване на количеството на тези елементи по дълбочина, което е интерпретирано като доказателство, че тези елементи са замърсявания. При образците от бронз, количествените измерванията са свързани с намирането на концентрациите на калай и олово тъй като от тях зависят механичните свойства на сплавта. Резултатите са представени ясно, в табличен вид, като за всяка стойност е дадена оценена стойност на грешка. Прави впечатление големия брой предмети, които са анализирани, например 69 от селището Балеи. Това дава възможност за получаване на статистически достоверна информация за състава и да се направят обобщаващи изводи за производството на бронз през тази епоха. Към тази серия се добавят и 7 предмета от светилището при с. Малко Тръново и 6 предмета от комплекс „Глухите камъни“ в североизточните Родопи. При последната серия от предмети е демонстрирана възможността за детайлен локален анализ на изследвания обект, като за бронзов кинжал е определен различен състав в различните му части. Към групата на бронзови артефакти са включени и такива от Късната бронзова и Ранната желязна епоха от колекцията на Националния археологически институт с музей на БАН. Интересен пример е свързването на елементния анализ на образците с мястото им на произход. Използван е факта, че наличието на антимон над определена концентрация (1%) е характерно за производство в Централна Европа. Такива концентрации са установени при 4 предмета.

В глава 5 са представени резултати от качествен анализ на елементния състав на 52 броя фрагменти от мазилки от 9 тракийски гробници от IV-III в. пр. Хр. Отново са представени резултати от прилагането на МСЛИП, като резултатите са сравнени с такива от други методи. Определени са основните вещества, използвани като пигменти по детекцията на различни елементи – калий, силиций, магнезий, натрий, алуминий, желязо. От тяхното наличие е изказано предположение за използваните минерали, като първична субстанция, използвана за оцветяване.

5. В какво се заключават научните и научно-приложни приноси на дисертационния труд.

Приносите в дисертационния труд могат да се класифицират като:

*Доказване с нови средства на съществени нови страни на съществуващи научни проблеми.*

*Получаване и доказване на нови факти*

Работата представя едно ефективно приложение на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма за качествен и количествен анализ на археологически обекти.

Представени са оригинални резултати за елементарен състав на различни обекти – бронзови, от Късната Бронзова и Ранната Желязна епохи и пигменти в хоросанови мазилки от IV-III в. пр. Хр.

На базата на проведените изследвания са направени разширени предположения за технологиите на получаване, произход и употреба на изследваните обекти.

На базата на горепосоченото, значимостта на приносите се състои в демонстрацията на ефективността на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма за анализ на археологически обекти. Представените резултати дават солидно основание за налагането на този метод, като основен при този тип изследвания. На база на демонстрираните свойства, може да се предположи и разширяване на неговите приложения и за анализ на други обекти.

6. До каква степен приносите в дисертационния труд са личен принос на дисертанта.

По темата на дисертацията са представени 7 публикации. В 4 от тях докторантът е пръв автор, което показва неговия основен принос в получените резултати. В дисертацията също са представени личните приноси. Те са свързани с подготовка на експерименталната апаратура, провеждане на експерименти, обработка и интерпретиране на получените резултати. От проведените срещи с ас. В.Танкова се убедих в тяхната достоверност. Тази активност покрива изпълнението на поставената цел и постигнатите приноси.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Основните резултати от проведените изследвания са отразени в 7 публикации. Една от тях има импакт фактор – *Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.* Три публикации са с импакт ранг, без импакт фактор. Представени са и три глави от книга „Тракийска древност: технологични и генетични изследвания, история и нематериално наследство“, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, където докторантът е съавтор. Публикациите представят оригинални резултати, голяма част от които са представени в дисертационния труд. Съгласно

представените наукометрични данни докторантът отговаря на националните изисквания, посочени в ЗРАС, Правилника на БАН и изискванията приети от НС на ИФТТ.

#### 8. Препоръки за бъдещо ползване на научните и научно-приложни приноси.

Получените резултати в рамките на тази дисертация са една солидна основа за бъдещо развитие на изследванията и приложенията на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма. Освен разширяване към други археологически обекти, методът може да се приложи и към образци от други сфери, например изкуство, индустрия.

#### 9. Авторефератът е изготвен съгласно изискванията, като в него са отразени основните резултати, заключения и приноси на дисертационния труд.

#### 10. Въпроси и критични бележки.

Дисертацията е написана ясно и е лесно за читателя да проследи логиката на проведените изследвания. Има няколко технически грешки, но те не променят общото звучене.

Въпрос: При анализа на обектите е използвано много импулсно въздействие. До каква степен модификациите на материала, предизвикани от предишен импулс се отразяват в спектъра, получен от следващия? Действието на лазерния импулс влияе ли съществено върху елементния състав на областта около аблираната?

#### 11. Заключение

Въз основа на гореизложеното считам, че дисертационният труд „Лазерно индуцирана плазма за изследване на археологически обекти“ с автор асистент Вани Танкова, съдържа съществени приноси с важно значение за науката и практиката в областта на приложението на метода на спектроскопия на лазерно индуцирана плазма. Дисертантът е придобил умения, познания и научен опит, необходими за научната степен „доктор”. **Изразявам убеденото си мнение да се присъди научната степен „доктор” на асистент Вани Танкова.**

14.11.2019

Рецензент:

Проф. дфн Николай Недялков