



## РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „Професор“  
Професионално направление: 4.1. Физически науки  
Научна специалност „Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя“ (мултифероични свойства на обемни образци и наноматериали)“  
съгласно обява в Държавен вестник, бр. 102/08.12.2023 г.  
за нуждите на Лесотехнически университет,  
с кандидат доц. д-р Илиана Наумова Апостолова

изготвил рецензията: **Марин Мирчев Господинов**, професор, дфн., ИФТТ- БАН

Доц. д-р Илиана Наумова Апостолова е единствен кандидат в конкурса за акад. длъжност „Професор“, обявен в Държавен вестник, брой 102 от 08.12.2023г. по Професионално направление: 4.1. Физически науки, Научна специалност „Електрични, магнитни и оптични свойства на кондензираната материя (мултифероични свойства на обемни образци и наноматериали)“ за нуждите на катедра „Математика, физика и информатика“ към Лесотехнически университет-гр София.

### **1.Обща характеристика на представените материали.**

В конкурса за акад. длъжност „Професор“ доц. д-р Илиана Апостолова участва с общо 58 научни публикации в реферирани международни издания и индексирани в световноизвестните бази данни Web of Science и Scopus, като от тях:

-**за еквивалент на хабилитационен труд** (отнасящ се към показател В4) доц. д-р Илиана Апостолова е представила 11 публикации, отпечатани в списания с импакт-фактор и SJR. Разделени по квартали, те са: 5 публикации в категория Q2 и 6 публикации в категория Q3.

Публикациите са излезли от печат през периода 2019 – 2023г. и са свързани с изследване на магнитоподредени, фероелектрични и антифероелектрични обемни образци и наноразмерни материали.

Следва да се отбележи, че в шест от публикациите кандидатката е първи автор.

- **Публикациите извън хабилитационния труд** са общо 47 (отнасящи се към показател Г). Разделени по квартали, те са: 4 публикации в категория Q1, 27 публикации в категория Q2, 13 публикации в категория Q3, 3 публикации в категория Q4. Публикациите са излезли от печат през периода 2015 – 2023г. В 19 от тези общо 47 научни труда кандидатката е първи автор.

В рамките на конкурса, доц. д-р Илиана Апостолова участва с 2 броя издадени университетски учебници и 1 брой издадено университетско пособие.

Отбелязаните цитати по процедурата на конкурса са 414.

До момента доц. д-р Илиана Апостолова е съавтор в общо 114 публикации в научни списания, от тях 92 в реферирани и индексирани списания от световната база данни Web of Science и Scopus

Забелязани са повече от 500 цитирания в реферирани и индексирани списания от световната база данни Web of Science и Scopus, h -индекс 11.

Съгласно изискванията за заемане на академична длъжност "Професор", заложен в Закона за Равни условия за Академичния Състав в РБ (ЗРАСРБ) и правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в Лесотехнически университет, кандидатът доц. д-р Илиана Апостолова е представила:

**към показател А - 50 точки (от минимум 50 точки )**

**към показател В - 190 точки (от минимум 100 точки )**

**към група от показатели Г - 871 точки (от минимум 200 точки )**

**към показател Д -828 точки (от минимум 100 точки )**

Цитирания в научни издания, монографии, колективни томове и патенти - 414 точки

**към група от показатели Е -170 точки (от минимум 150 точки ), като към тях**

**E14.** Участие в национален научен или образователен проект-90 точки

**E19.** Публикуван университетски учебник или учебник, който се използва в училищната мрежа: -60 точки

**E20.** Публикувано университетско учебно пособие или учебно пособие, което се използва в училищната мрежа: -20 точки

Наукометричните показатели на кандидат доц. д-р Илиана Апостолова напълно покриват изискванията за заемане на академична длъжност "Професор" заложен в Правилника към ЗРАС РБ и на Лесотехнически университет-гр.София .

## **2. Обща характеристика на научната, научно-приложната и педагогическата дейност на кандидата**

Илиана Апостолова завършва Магистратура в катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника“ към Физически Факултет, Софийски Университет “Св. Климент Охридски” през 1993г. През 2012г успешно защитава ОНС “Доктор” на тема „Статични и динамични свойства на магнитни и мултифероични наночастици” във Физически факултет, катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника” на основата на 11 публикации с импакт фактор и импакт ранг. Илиана Апостолова започва своята кариера като учител по физика и информатика в 54 СОУ „Св. Иван Рилски”, след което през 1996г постъпва на работа като асистент в Лесотехнически университет, катедра „Математика и физика”, като основната и дейност е свързана с ръководене на лабораторен практикум по „Физика с основи на биофизиката”, „Физика с биофизика” и „Физика”. През 2008г кандидатката печели конкурс за Главен асистент

в катедра „Математика и физика“, а от началото на 2015 г е Доцент в катедра „Математика, физика и информатика“, където се занимава с учебна и научноизследователска дейност.

Доц. д-р Илиана Апостолова е автор и съавтор на 5 университетски учебника и ръководства за лабораторни упражнения по Физика и Биофизика. Също така, доц. Апостолова е автор на тестова система за оценяване знанията на студентите в Лесотехнически университет. Учебниците са на основата на двата основни курсове лекции, които доц. Апостолова води в Лесотехнически университет, а учебното помагало е свързано с лабораторен практикум, изискуем за всички студенти, изучаващи дисциплините Физика и Физика с биофизика.

До момента доц. д-р Илиана Апостолова има участия в 10 научно-изследователски проекта, финансирани от Фонд Научни Изследвания, и Министерство на образованието и науката.

Научните интереси на доц. д-р Илиана Апостолова са в областта на теорията на твърдото тяло и по-конкретно в изследване на магнитоподредени, фероелектрични и антифероелектрични мултифункционални материали (обемни образци и наноразмерни материали). Понстоящем, резултатите от научно-изследователската дейност на доц. д-р Илиана Апостолова са 114 публикации в научни списания, като от тях 92 са в реферирани и индексирани списания от световната база данни Web of Science и Scopus.

Общият брой цитати на работите на доц. Апостолова е над 500, отбелязани в реферирани и индексирани списания от световната база данни Web of Science и Scopus

Доц. Апостолова притежава грамота от списание: „Journal of Applied Physics“ за най-четена статия: „Origin of ferromagnetism in transition metal doped BaTiO<sub>3</sub>“ 113(20), 3904, 2013.

### **3. Основни научни и/или научно-приложни приноси с оценка до каква степен те са лично дело на кандидата.**

Научната дейност на доц. д-р Илиана Апостолова е фокусирана върху изследване на мултифероиците като широк клас материали, притежаващи едновременно различни фероични подреждания: магнитно подреждане (феромагнетизъм, антиферомагнетизъм, феримагнетизъм, спирални структури), електрично подреждане (фероелектричество, антифероелектричество) и/или фероеластичност в една фаза. За разлика от микроскопичният произход на магнетизма (един и същ при всички мултифероици), при фероелектричеството съществуват няколко микроскопични източници на поляризация, които определят и различните типове мултифероици. Именно върху теоретичното изследване на механизмите за поява на спин-индуцирана поляризация и изясняване на връзката между структурата и свойствата на мултифероиците и магнетоелектричната връзка, както и изследване ефекта на дотиране в тях, доц. д-р Илиана Апостолова е насочила своята академична кариера.

Научните и научно-приложни приноси на доц. д-р Илиана Апостолова са значими и актуални, и намират приложения в медицината, електрониката, приборостроенето, изкуствения интелект и други сфери на живота.

### **Основни научни приноси**

Основните научни, научно-приложни и методични приноси на доц. д-р Илиана Апостолова могат да се обобщят в следните области:

## **I. Изследване на мултифероични материали във вид на обемни образци и ниско размерни системи**

### **1.1. Изследване на механизмите за поява на спин-индуцирана поляризация в обемни образци**

Основен принос от научно-изследователска дейност в тази област е изясняване на връзката между структурата и свойствата на изследваните мултифероичи

- Доказано е действието и са оценени приносите на всеки един от механизмите при възникване на спин-индуцирана поляризация в обемни образци от  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{LiFeP}_2\text{O}_7$  [5, 6, 7, 29]. Например, в полярни магнетици като  $\text{BiFeO}_3$  и  $\text{LiFeP}_2\text{O}_7$ , спонтанната поляризация води до индуциране на антисиметрично магнитно взаимодействие [7, 29], като е установено, че под точката на магнитен фазов преход спонтанната поляризация зависи от подреждането на магнитните моменти и може да се управлява с прилагане на магнитно поле [7, 29].
- Установено е наличието на магнетодиелектричен ефект при съединения като  $\text{LiCuVO}_4$ ,  $\text{LiCu}_2\text{O}_2$ ,  $\text{CuCrO}_2$ ,  $\text{BiFeO}_3$ ,  $\text{AgCrS}_2$ ,  $\text{AgCrO}_2$ ,  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$  и др.. Установена е зависимостта на големината на наблюдавания пик в температурната зависимост на диелектричната константа в точката на магнитен фазов преход и неговата позиция от големина и посока на приложеното външно магнитно поле, при отчитане на спин-фоонното взаимодействие [3, 10, 23, 27, 33, 34]. Липсата на пик в диелектричната константа при отсъствие на магнитно поле и намаляването на нейната стойност при прилагане на магнитно поле е интерпретирана като поява на антифероелектрично подреждане в  $\text{Li}_2\text{ZrCuO}_4$  [4] и  $\text{NaCu}_2\text{O}_2$  [31].
- Теоретично е доказана възможността за поява на мултифероични свойства в съединения с антифероелектрично-антиферомагнитно подреждане в една фаза при  $\text{Cu}_2\text{O}_2(\text{SeO}_3)_4\text{Cl}_6$  [32]. При изследване зависимостта на поляризацията от външно електрично поле е наблюдавана двойна хистерезисна зависимост и поява на спонтанна намагнитеност при прилагане на електрично поле.
- Установени са различни механизми за спин-индуцирана поляризация или отсъствие на такава в съединения от типа  $\text{AgCrS}_2$  и  $\text{AgCrO}_2$ ,  $\text{LiFeP}_2\text{O}_7$  и  $\text{LiCrP}_2\text{O}_7$ ,  $\text{NaCu}_2\text{O}_2$  и  $\text{LiCu}_2\text{O}_2$ , които са изоморфни в структурно отношение, но различният им химичен състав поражда различни взаимодействия [27, 29, 31].

### **1.2. Изследване на ефекта на дотиране и създаване на ниско размерни системи**

Доц. Апостолова избира метода на дотиране като начин, с който променя структурните параметри на кристалната решетка, предизвиквайки процеси на свиване и разтягане, промени в характера на магнитното и електричното подреждане и на връзката между двата параметъра на подреждане. Подбирано е дотиране с йони със същата валентност или различна валентност от тази на заместваните. Изследвани са и случай на създаване на анионни ваканции с цел да се осигури зарядова неутралност.

- Създаден е модел [1], описващ промените в мултифероичните свойства на наночастици от  $\text{BaTiO}_3$ , дотирани с йони от групата на преходни метали (например с  $\text{Fe}$  ( $\text{BaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ )). Установено е, че при недотирани наночастици от  $\text{BaTiO}_3$ , възникването на феромагнетизъм се дължи на наличието на кислородни ваканции на повърхността, което води до появата на  $\text{Ti}^{3+}$  и/или  $\text{Ti}^{2+}$  със спин отличен от нула. В случай на дотиране с  $\text{Fe}$  ( $\text{BaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ), едновременното присъствие на  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{4+}$ -йони води до нов механизъм, отговорен за възникването на феромагнетизъм. Установено е, че феромагнитното  $\text{Fe}^{4+}$ - $\text{Fe}^{4+}$  взаимодействие доминира над антиферомагнитните  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ - $\text{Fe}^{4+}$  взаимодействия, водейки до значително нарастване на намагнитеността. Чрез числени пресмятания доц Апостолова доказва, че намагнитеността и температурата на магнитния фазов преход нарастват при дотирането, а поляризацията и температурата на фероелектричния преход намаляват.
- Анализирани са промените на феромагнетизъм в наночастици от  $\text{BaTiO}_3$ , дотиран с редкоземни елементи (например  $\text{Er}$ ), който замества Ва-йони- $\text{Ba}_{1-x}\text{Er}_x\text{TiO}_3$ . Доказана е зависимостта на стойността на диелектричната константа от приложеното външно магнитно поле [22].
- Установено е, че при дотиране на  $\text{YCrO}_3$  с  $\text{Mn}$ -йони (заместват  $\text{Y}$ ) диелектричната константа нараства с нарастване на степента на дотиране, а при дотиране с  $\text{Gd}$ , тя намалява [20]. Получените резултати са обяснени с разликата в йонните радиуси на дотиращите елементи спрямо радиусите на заместваните  $\text{Y}$ -йони. Такива изводи са направени и за  $\text{LaFeO}_3$  [25] като се получава заместване на магнитните  $\text{Fe}$ -йони с йони на преходен метал.
- Анализирана е разликата в поведението на поляризацията в изоморфни съединения  $\text{LuFeO}_3$  и  $\text{LaFeO}_3$  при дотиране със  $\text{Sm}$ , който замества немагнитните  $\text{Lu}(\text{La})$ -йони [43]
- Установени са ефектите на дотиране на съединение с еднакъв химичен състав, но различна кристална структурна за структурен фазов преход от орторомбична в хексагонална кристална решетка при дотиране на  $\text{YFeO}_3$  със  $\text{Sc}$ , който замества  $\text{Fe}$ -йони [41].
- Доказано е, че появата на структурен фазов преход при дотиране на наночастици от  $\text{BiFeO}_3$  с  $\text{Tb}$  е отговорен за нарастване на спин-индуцираната поляризация в системата [45].

## II. Научно-приложни приноси

### 2.1. Установяване на “магнетизъм при стайни температури” („Room-temperature magnetism“) и “мултифероизъм при стайни температури” („room-temperature multiferroism“) в дотирани магнитни и мултифероични наночастици [9, 12, 13, 16, 21, 30, 37, 38, 40, 44, 46, 47]

Доц. Апостолова е изследвала подробно промяната на свойствата на магнитни наночастици чрез изменение на формата, размерите и/или контролирана промяна на състава им посредством вкарване на примеси в магнитни и мултифероични съединения. Установено е наличието на т.нар. „room-temperature magnetism“ и „room-temperature multiferroism“, откриващ огромни приложения в спинтрониката, оптоелектрониката и медицинската физика.

- Установено е, че при наночастици на недотирани съединения като SnO<sub>2</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuAlO<sub>2</sub>, FeS<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>Fe<sub>4</sub>O<sub>9</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> се наблюдава макроскопична намагнитеност при стайна температура, което отсъства в обемните образци [9, 13, 21, 38, 46, 47]. Предложено е качествено обяснение за появата на магнитно подреждане при стайна температура в случай на SnO<sub>2</sub> [9] и In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [13], свързани с поява на анионни ваканции.
- Установена е появата на намагнитеност в немагнитни наночастици от FeS<sub>2</sub> НЧ [21], следствие от поява на FeS магнитна фаза със серни ваканции, като с намаляване на размера, намагнитеността нараства. Появата на магнитоподредено състояние при стайна температура в CuAlO<sub>2</sub> [38] е свързано с появата на некомпенсирани спинове на Al<sup>3+</sup>-йони.
- Представени са числени пресмятания за появата на намагнитеност при дотиране на заместване в SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и CeO<sub>2</sub> неподредени магнитни полупроводници с немагнитни примеси, магнитни йони на преходни метали или редкоземни елементи [9, 12, 16]. Установено е, че влиянието на примесите е различно, като при дотиране намагнитеността може да нараства, намалява или да минава през максимум.
- Установено е, че при дотиране на SnO<sub>2</sub> [9], TiO<sub>2</sub> [12] и CeO<sub>2</sub> [12] НЧ с Co<sup>2+</sup>-йони (преходен метал), чийто радиус е по-малък от този на Sn<sup>4+</sup>, Ti<sup>4+</sup> и Ce<sup>4+</sup>-йони, се получава напрежение на свиване, което е причина за поява на намагнитеност. При ниски концентрации на примесните атоми с нарастване на степента на дотиране благодарение на *s-d* взаимодействието намагнитеността нараства, достигайки до максимум. По нататъшното нарастване на концентрацията на примесите води до намаляване на намагнитеността (свързано с поява на свръх-обменно взаимодействие между локализираните Co-спинове, което е антиферомагнитно).
- Установено е, че при дотиране с йони на редкоземни елементи на наночастици от SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и CeO<sub>2</sub> (като Pr<sup>3+</sup> и Sm<sup>3+</sup>-йони) [16] с увеличаване на концентрацията на примесните йони намагнитеността в SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и CeO<sub>2</sub> намалява в сравнение с недотираните образци.

- Наблюдавано е намаляване на намагнитеността и температурата на магнитния фазов преход при дотиране на наночастици от  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  с редкоземни елементи  $\text{Gd}^{3+}$  [47]. Установено е, че йоните на  $\text{Gd}^{3+}$  заместват  $\text{Fe}$ -йони в октаедрични позиции и поради по-големия си радиус се появяват напрежения на разтягане, което довежда до намаляване на големината на взаимодействие между спиновете на  $\text{Fe}$ . В допълнение,  $\text{Fe}$ -магнитни моменти и спиновете на  $\text{Gd}$ -йони са разположени антиферромагнитно, в резултат на което два ефекта водят до намаляване на макроскопичната намагнитеност в дотирания магнетит. Аналогично е интерпретирана и зависимостта на намагнитеността на  $\text{CuCr}_2\text{O}_4$  наночастици при дотиране с редкоземен  $\text{Pr}$  [37].

## 2.2. Самосъгласувана магнитна хипертермия [11, 18, 24, 28, 36, 42]

Част от научно-приложните приноси на доц. Апостолова са фокусирани върху изследване на магнитна хипертермия - иновативен метод за борба с рака, състоящ се в локално нагриване на злокачествени образувания, което води до тяхното унищожаване, като се запазват здравите клетки. Ефекта на нагриване се постига с използването на магнитни наночастици, които при взаимодействие с променливо магнитно поле „произвеждат“ топлина. Основен проблем в тази терапия е мониторингът на температурното поле около тумора, като именно в решението му е и иновативността в научно-приложните дейности на доц. Апостолова.

- Предложено е използване на магнитни наночастици с температура на магнитен фазов преход от магнитно подредено към магнитно не подредено състояние в критичния интервал от  $41^\circ\text{C}$  до  $46^\circ\text{C}$ . Над тази температура наночастиците преминават в парамагнитно състояние и процесът на загриване спира, като се получава самоконтролираща се магнитна хипертермия.
- Въведен е т.нар. specific absorption rate коефициент, който измерва абсорбираната топлинна мощност, нормирана към масата на МНЧ, тъй като процесът на загриване е свързан с хистерезисни загуби
- Установен е ефекта на наночастици за *in vivo* и *in vitro* приложения с температура на магнитен фазов преход в интервала между  $41^\circ\text{C}$  и  $46^\circ\text{C}$  [11, 18, 24, 28, 36, 42]. Тази температура се постига посредством промяна в размера на наночастиците, вида и степента на дотиране [11, 18, 28, 36, 42]. Например за съединения от типа  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MO}_3$  [11],  $\text{Me}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  с  $\text{Me}=\text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}, \text{Mn}$  [18] и  $\text{Y}_3[\text{Fe}_{2-y}\text{M}_y]_a(\text{Fe}_{3-z}\text{M}_z)_d\text{O}_{12}$  с  $\text{M}=\text{Al}, \text{Ga}, \text{Sc}, \text{In}$  [36] са определени магнитни наночастици, които имат оптимални параметри и са биологично щадящи за човешкия организъм.
- Установено е, че размерът на магнитните наночастици е необходимо да бъде по-малък от 25 nm, което осигурява възможност за транспорт през капилярните кръвоносни съдове; нетоксичност и биосъвместимост; както и създаденото магнитното поле да е безопасно от биологична гледна точка и в рамките на човешкия толеранс за болка.

### **3. Методични приноси**

#### **3.1. Издадени учебници и учебни помагала**

Доц. д-р Илиана Апостолова е автор и съавтор на 5 университетски учебника и ръководства за лабораторни упражнения по физика и биофизика. Учебниците са на основата на основните курсове лекции, които доц. Апостолова води в Лесотехнически университет. Издаденото помагало за тестове за студенти е свързано с лабораторен практикум, изискуем за всички студенти, изучаващи дисциплините Физика и Физика с биофизика.

От приложените по конкурса документи става ясно, че доц. д-р Илиана Апостолова е изграден професионалист в областта на изследване на мултифероични свойства на обемни образци и наноматериали и има съществена роля получените до момента експериментални резултати да бъдат публикувани в приложените към конкурса статии, както и да бъдат разпознаваеми сред научната общност (цитати). Доц. д-р Илиана Апостолова има активна преподавателска дейност, автор и съавтор е на 5 университетски учебника и ръководства за лабораторни упражнения по физика и биофизика.

#### **4. Отражение на научните публикации на кандидата в нашата и чуждестранна литература:**

Посочените цитати към научните публикации, с които кандидатката участва в конкурса съгласно Web of Science и Scopus, са 414.

Общия брой цитати на всички научни публикации на кандидатката е над 500.

#### **5. Критични бележки на рецензента по представените трудове, включително и по литературната осведоменост на кандидата**

Нямам критични бележки.

#### **6. Лични впечатления на рецензента за кандидата**

Не познавам лично доц. д-р Илиана Апостолова, но съм изключително впечатлен от огромното разнообразие от мултифероични материали, които тя е изследвала обстойно и е намерила свързващата нишка в механизмите на спин-индуцирана поляризация и връзката между структурата и свойствата на макроскопично ниво чрез дефиниране на микроскопични хамилтониани, описващи поведението на електричната, магнитната подсистеми и връзката между тях.



Смятам, че нейната научна и научно-исследователска дейност са впечатляващи и доказателство за това са множеството публикации в реномирани списания като J. of Alloys and Compounds; J. of Magnetism and Magnetic Materials; Physica E; Materials Today Commun. и други, както и големия брой забелязани цитати. Не на последно място е педагогическата и активност.

Също така, приложените документи по конкурса са отлично подредени. Всичко това ми дава основание да смятам, че доц. д-р Илиана Апостолова е изключителен професионалист в своята област и много ценен кадър във всеки научен колектив.

#### **7. Мотивирано и ясно формулирано заключение.**

Представените по този конкурс материали и научни трудове на доц. д-р Илиана Апостолова характеризират кандидатката като отлично квалифициран специалист.

Тук държа да отбележа и активното участие на доц. д-р Илиана Апостолова в различни научно-изследователски проекти.

Горепосочените данни показват, че наукометричните показатели на доц. д-р Илиана Апостолова напълно удовлетворяват изискванията за заемане на академичната длъжност „Професор“, заложи в Закона за Развитие на Академичния Състав в РБ (ЗРАС РБ) и правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности на Лесотехнически университет.

На базата на гореизложеното, изразявам пълната си подкрепа към кандидатурата на доц. д-р Илиана Апостолова и с убеденост препоръчвам на почитаемото Научно жури да подкрепи и предложи на НС на Лесотехнически университет доц. д-р Илиана Апостолова да бъде избрана на академичната длъжност „Професор“ към Професионално направление: 4.1. Физически науки

10.04.2024 г.

изготвил рецензията:

/проф. д-р Марин Господинов /