

## **Авторска справка за приносите на доц. дфзн Виктор Иванов към трудовете, представени за участие в конкурса**

### **1. Общо представяне на приносите**

Научните ми интереси обхващат оптична спектроскопия на кондензираната материя – Раманова, инфрачервена, фотолуминесценция, и теоретично моделиране на трептенията на молекули и на динамиката на кристалната решетка. Част от научните ми публикации са посветени и на физиката на магнетизма. Основна част от научните ми изследвания са проведени в Лабораторията по спектроскопия на кристали към Физическия факултет на СУ, както и в Института по материали Жан Руксел (IMN) – град Нант, Франция, където многократно съм заемал пост на гост-професор.

Съгласно с Препоръчителните изисквания на Физическия факултет за заемане на академични длъжности, кандидатите за пост на професор трябва да имат „ръководство на утвърдена научна група, екип, колектив или лаборатория, работеща по съвременни проблеми на науката и/или технологиите”. В тази връзка съм сформирал и ръководя научна група към Лабораторията по спектроскопия на кристали, работеща по компютърно моделиране на динамиката на кристалната решетка. В групата влизат още гл. ас. д-р Нено Годоров, както и Dr. Eric Faulques от IMN, с когото нашата лаборатория има сътрудничество, датиращо от 1995 г. В това направление групата е публикувала над 15 работи в престижни международни списания, като ACS Nano (IF 13), Physical Review B (IF 3.6), Journal of Physical Chemistry (IF 3.1) и Physics and Chemistry of Minerals (IF 1.6). Не съм бил административен ръководител на докторант, но съм участвал в обучението на пет успешно защитили докторанти, като техен консултант в областта на компютърното моделиране на динамиката на кристалната решетка.

Като най-значими свои достижения, в които имам водещ или съществен принос, бих посочил:

- установяването на вида катионно подреждане в инверсия шпинел  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  (работа № 27 от общия списък с публикации);
- регистрирането и теоретичното обяснение на двумагنونното Раманово разсейване в  $\text{CuV}_2\text{O}_4$  (работа А8 от представените за участие в конкурса);
- „разшифроването” на Рамановия спектър на едномерни кристали  $\text{HgTe}$ , капсулирани във въглеродни нанотръби (работа А9 от представените за участие в конкурса);
- откриването на SERS ефект от ниобиеви повърхности, обработени с фемтосекундни лазерни импулси (работа А10 от представените за участие в конкурса, обект на заявка за патент Е1).

Освен изследователска работа, имам активна преподавателска дейност, свързана с воденето на лекции по уводни курсове по физика и математика за студенти от

началните курсове. Автор съм на учебните програми на три нови за Физическия факултет курса, по които чета лекции и до днес:

- „Вероятности и физическа статистика” за специалностите Физика, Астрофизика, метеорология и геофизика, Квантова и космическа теоретична физика. Към курса съм публикувал записки, достъпни в интернет на адрес: <http://elearning-phys.uni-sofia.bg/~vgi/> . При преподаването по курса използвам елементи на проектно-ориентирано обучение, като през семестъра давам на студентите няколко задачи – проекти, превишаващи като трудност задължителния материал. Студентите, успешно защитили решенията на тези задачи, биват освобождавани от крайния семестриален изпит. Текстовете на задачите са достъпни на същата интернет страница;
- „Основи на физиката – 2. част” (оптика и атомна физика) за специалностите Оптометрия и Комуникации и физична електроника;
- „Обща физика” за специалност Компютърна химия на Факултета по химия и фармация.

Значителна част от преподавателската ми дейност е свързана с подготовката и ръководството на отбора за Международните олимпиади по физика (от 2000 г. до 2016 г.). Съвместно с проф. Мирослав Абрашев беше разработена методика на подготовка, която доведе до значителни успехи на нашите ученици на Международните олимпиади. От 2000 г. до 2016 г. страната ни е спечелила 4 златни, 24 сребърни и 36 бронзови медала. От 2000 г. активно участвам в разработването на теми за националните олимпиади и състезания по физика, като редица от публикациите ми са свързани с тази дейност. Отчитайки голямото значение на образованието по физика в средното училище за подготовката на качествени студенти за физическите специалности във ВУЗ, съм участвал и в написването на 21 учебника или учебни помагала, одобрени от МОН, за обучение в прогимназиалния или гимназиалния етап на училищата.

По отношение на препоръчителните количествени критерии за заемане на длъжността „професор” във Физическия факултет, представям данни в следващата таблица:

<b>Препоръчителни изисквания</b>	<b>Данни за кандидата</b>
преподавателски опит като доцент, еквивалентен на пълната аудиторна учебна натовареност за поне 3 години във Физическия факултет.	13 г.
най-малко 40 публикации, от които поне 30 статии в реномирани издания, в поне 20 от които кандидатът трябва да има водеща роля	104 публикации, от които 42 статии в реномирани издания. Първи автор в 17 публикации; втори автор с равностоен принос на първия автор в 6 публикации.
поне 1 самостоятелна статия, монография или глава от книга	2 самостоятелни работи
наличие на поне една „златна публикация“, т.е. такава, която е цитирана повече от 20 пъти;	7 публикации с повече от 20 цитирания, с водещ принос в две от тях.
най-малко 80 независими цитирания	640 независими цитирания към 02.08.2018 г.
h-индекс поне 8	h-индекс 12

Данните от таблицата се подкрепят от обобщената таблица след списъка с цитирания.

За участие в конкурса съм представил 38 публикации, разделени на следните групи:

- А – публикации в списания с импакт-фактор или импакт-ранг;
- В – публикации в национални списания без импакт-фактор или импакт-ранг;
- С – участие в учебници за прогимназиалния и гимназиалния етап на обучение;
- Е – заявка за патент
- Изнесените доклади на конференции са номерирани и означени с префикс D.

## 2. Принос на кандидата в конкурса към отделните публикации

### Публикация А1

В работата са изследвани луминесцентните свойства на тънки филми от органичното съединение N,N'-diphenyl-1,4-phenylene-diamine (DPPD). Молекулата DPPD е олигомер на полианилина и се състои от три фенилни (бензолни) ядра, свързани посредством аминни мостове. Спрегнатите  $\pi$  връзки в молекулата обуславят нейната интензивна луминесценция във видимия диапазон. Затова DPPD беше изследван като перспективен материал при изработването на органични светодиоди (OLED). DPPD може да бъде отлаган като тънък слой с различна степен на ориентация на молекулите. В работата са изследвани фотолуминесцентните свойства на ориентирани и неориентирани DPPD слоеве с дебелина от 27 до 110 nm с цел да се установи как ориентацията на молекулите влияе върху квантовата ефективност на луминесценцията. Работата включва експериментално изследване на оптичното поглъщане, на стационарната и на преходната луминесценция, както и теоретично изследване на физичните механизми, водещи до гасене на луминесценцията. Тънките слоеве са получени от F. Massuyeau и S. Lefrant (IMN, France), изследвани са чрез оптично поглъщане от O. Pyshkin (ILT, Ukraine) и стационарна фотолуминесценция от J. Wéry (IMN, France). Експериментите по преходна луминесценция при възбуждане с пикосекундни лазерни импулси са проведени от E. Faulques и H. Athalin (IMN, France). Кандидатът в настоящия конкурс разработи теоретичните модели, които описват нестационарните процеси на гасене на луминесценцията, предложи съответната интерпретация на експерименталните данни и участва в написването на съществена част от глави III и IV на работата. По-специално, приносът на кандидата се свежда до:

- Въз основа на експерименталните данни по стационарна луминесценция и оптично поглъщане бяха определени интегралите на спектрално припокриване  $J$  на луминесцентния и абсорбционния спектър. Параметърът  $J$  е основен при пресмятане на времето за резонансен трансфер на енергия между молекулите на слоя, а оттам и с коефициента на дифузия  $D$  на екситоните. Беше утановено, че  $J$  е значително по-голям в ориентираните слоеве, което се обяснява с успоредните диполни моменти на оптичните преходи в съседните молекули DPPD.
- Бяха извършени полуемпирични пресмятания на енергиите на оптично поглъщане и на излъчване за молекулата DPPD, които позволиха да бъде

установен вида на оптичните преходи, които дават принос към луминесцентните и абсорбционните спектри.

- Беше установено, че гасенето на луминесценцията в ориентираните филми е значително по-бързо, отколкото в неориентираните, и има изразен неекспоненциален характер. Въз основа на този експериментален факт беше разработен модел за екситонна аниhilация, чрез който бяха обяснени количествено кривите на гасене на луминесценцията в двата вида филми. Показано е, че константите на аниhilация корелират с коефициентите на дифузия на екситоните. Софтуерът за фитиране на кривите на гасене на луминесценцията също е разработен от кандидата и до момента се използва в Лабораторията по фемтосекундна спектроскопия в Института по материали Жан Руксел в град Нант, Франция.
- Въз основа на експерименталните данни и на теоретичните модели беше направен изводът, че неориентираните филми имат значително по-висок квантов добив при фотолуминесценция, отколкото ориентираните, поради по-бавната дифузия на екситоните и съответно по-слабата им аниhilация.

Работата е продължение на изследванията, докладвани на конференцията D1.

## **Публикация A2**

Работата има методологичен характер и е свързана с преподаването на основи на теоретичната физика на студенти химици. Разбирането на реда на запълване на електронните слоеве в атома, т.нар. правило на Маделунг-Клечковски, е основа за успешното усвояване на редица важни зависимости в химията. Те се съдържат най-вече в курсовете по „Строеж на веществото”, „Обща и неорганична химия”, „Органична химия”, както и в контекста на магнитните свойства на атомите и техните съединения.

Обикновено правилото на Маделунг-Клечковски се преподава или чисто емпирично (въз основа на механично запаметяване), или в контекста на самосъгласувани квантовомеханични методи, като Хартри-Фок, Томас-Ферми или теорията на функционала на плътността. Затова в курсовете по химия има „празнина” по отношение на достатъчно строго и логично изложение на правилото на Маделунг-Клечковски, което същевременно да бъде достъпно за студенти по химия от началните курсове на университетите. Представеният в статията подход беше разработен от проф. Стефан Иванов, дългогодишен титуляр на курса „Основи на теоретичната физика”, четен в Химическия факултет на СУ. Съавторите В. Иванов и С. Лишев бяха асистенти по курса до 2006 г.. Разработеният в статията подход е залегнал и в издадения през 2006 г. от издателство Springer учебник „Theoretical and quantum mechanics. Fundamentals for chemists” с автор С. Иванов.

Предложеният качествен подход се състои в анализиране на кривата на ефективната потенциална енергия за движение на електрон в екранирания централен потенциал на ядрото. Приносът на кандидата по конкурса се състои най-вече в разработване на семинарните упражнения и апробирането на представената в статията методология в реална аудиторна среда.

## Публикации А3, А4, А6 и А7

Тези публикации са в основата на докторската дисертация на Н. Тодоров. И четирите публикации са посветени на експериментално изследване и интерпретиране на Рамановите спектри на сложни оксиди с перовскитна или перовскитоподобна структура. Основен принос в тяхното написване и към представените в тях научни резултати имат Н. Тодоров (тогава докторант) и научният му ръководител М. Абрашев. Е. Влахов (ИФТТ-БАН) предостави образците, изследвани в публикацията А3. Г. Авдеев и С. Русев участваха при характеризирани на образците, изследвани в А4, съответно чрез рентгенова дифракция и чрез сканираща електронна микроскопия. Образците  $\text{YCrO}_3$  и  $\text{YMnO}_3$ , изследвани в публикацията А6, са синтезирани съответно от В. Маринова (ИОМТ-БАН) и Y.-Q. Wang (Texas Center for Superconductivity), и характеризирани чрез SEM-EDX от Г. Цуцуманова (Физически факултет на СУ). Кандидатът в настоящия конкурс има принос към публикациите А3, А4 и А6 като консултант по докторантурата на Н. Тодоров при теоретичните пресмятания на динамиката на кристалната решетка на изследваните съединения. По-специално, съвместно с Н. Тодоров теоретично бяха подбрани потенциалните параметри на използвания модел на валентните обвивки и бяха направени отнасяния на експерименталните честоти в Рамановия спектър към пресметнатите нормални трептения на изследваните кристали. Тези три работи са част от изследванията, които кандидатът (като ръководител) и Н. Тодоров (като участник) планираха в три съвместни проекта, финансирани от Фонда за научни изследвания на Софийския университет. Резултатите от работите А3 и А4 са представени съответно на конференциите D2 и D3.

Публикацията А7 не е свързана с изследване на конкретно съединение, а има характер на теоретично обобщение на съществуващи до момента работи. Перовскитите,  $\text{RVO}_3$  (R = редкоземен елемент, V = тривалентен катион), са сред най-разпространените минерални форми в земната кора, както и прототипи на много от съвременните функционални материали – високотемпературни свръхпроводници, манганити с колосално магнитосъпротивление, мултифероици и т.н. Оказва се, че електронните и оптичните свойства на перовскитите са изключително чувствителни към структурни деформации, свързани с кооперативно завъртане на съставящите ги  $\text{VO}_6$  октаедри. В работата са обобщени резултатите от структурни изследвания и Раманова спектроскопия на близо 60 различни перовскита. Беше установено, че:

1. Съществува фундаментална линейна връзка между честотата на ротационните  $A_g$  трептения на дадения перовскит и ъгъла на статично завъртане на  $\text{VO}_6$  октаедрите.
2. Коефициентът на пропорционалност между честотата и ъгъла на завъртане намалява систематично с увеличаване на дължината на В-О връзката.

Н. Тодоров и М. Абрашев събраха и систематизираха обширния експериментален материал. Основен принос към написване на работата има Н. Тодоров. Приносът на кандидата в конкурса е свързан с интерпретиране на установената връзка между

коэффициента на пропорционалност и дължината на В-О връзката, като е предложено, че тя се дължи на късодействащо взаимодействие между В-атома и кислорода от типа на Борн-Майер, както и на нарастване на инерчния момент на  $\text{VO}_6$  октаедрите с увеличаване на  $\text{VO}$  разстоянието.

## Публикация А5

Опалите са силикати с високо съдържание на вода:  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Те са уникални от структурна гледна точка, защото в тях се наблюдават различни нива на подреждане, като някои опали представляват естествени фотонни кристали с периодично тримерно подреждане на наносфери от силициев диоксид. На микроноиво опалите са интересни с това, че са междинна форма между аморфен силициев диоксид ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) и кристалните му полиморфи кристобалит и тридимит. От тази гледна точка опалите се класифицират в три групи според вида на техния рентгенов дифракционен спектър: Опал-А – аморфен, без ясно изразени дифракционни максимуми; Опал-СТ, при който се наблюдават два силни дифракционни максимума съответно на  $\alpha$ -кристобалита и на  $\alpha$ -тридимита; Опал-С, чийто дифракционен спектър напомня този на  $\alpha$ -кристобалита, но със значително по-широки линии. Затова в немалко работи опалите се описват чрез модела на аморфна матрица от  $\alpha\text{-SiO}_2$  с включения от нанокристален кристобалит и тридимит. Този модел обаче противоречи на резултатите от изследвания чрез Раманова и инфрачервена спектроскопия. Оказва се, че Рамановият спектър и на трите форми на опалите не съдържа характеристичните линии на кристобалита или на тридимита, което поставя под съмнение съществуването на нанокристални форми от двата полиморфа. Основна цел на работата е детайлното сравнение на Раманови спектри на образци от Опал-А и Опал-СТ, и разработването на теоретичен модел, който да обясни противоречивите данни от Рамановите и рентгеновите измервания.

Изследваните образци на опали са събрани и характеризирани чрез рентгенова дифракция от В. Aguilar Reyes и Е. Fritsch (IMN, France), изследвани са чрез Раманова спектроскопия от Е. Faulques (IMN, France). Кандидатът в конкурса разработи методи за числено обработване на Рамановите спектри, разработи теоретичен модел за пресмятане на характеристичните Раманови спектри на двете групи опали и заедно с останалите съавтори участва при интерпретацията на резултатите. Работата, в по-голямата си част, е написана от кандидата. Приносите на кандидата може да бъдат обобщени по следния начин:

- Чрез три типа спектрална деконволюция – Фурие, втора производна по честотата и нелинейно фитиране, е установено, че в Рамановите спектри на всички изследвани опали се наблюдават осем силно припокриващи се спектрални линии. Видимата разлика в положението на спектралния максимум между опалите от тип А и тези от тип СТ се дължи на преразпределяне на интензивността между осемте компоненти.
- Теоретично, чрез полуемпиричния хамилтониан РМ3 (Parametric Model 3), е пресметната вибрационната плътност на състоянията за изолирани 6-членни пръстени  $\text{SiO}_2$  с конформация на силициево-кислородните октаедри, характерна

за кристобалита и за тридимита. Показано е, че максимумите в плътността на състоянията и за двата вида конформация съответстват с висока точност на честотите на спектралните компоненти, които се наблюдават в Рамановите спектри на изследваните опали.

- Направен е извод, че както в Опал-А, така и в Опал-СТ, основен принос към Рамановите спектри дават трептенията на 6-членни пръстени, „разтворени” в матрица от аморфен силициев диоксид. В аморфните опали пръстените са пръснати хаотично и не дават характерни максимуми в рентгеновите дифракционни спектри. В опалите от тип СТ и С пръстените „кондензират”, като образуват нанозародиши на кристобалит и тридимит, обуславящи характерните за тези полиморфи дифракционни максимуми.

## Публикация А8

Медните оксиди имат разнообразни и интересни магнитни свойства. Такива са например високотемпературните свръхпроводници, общ структурен елемент на които са  $\text{CuO}_2$  равнините – носители както на електричната проводимост в металната фаза, така и на магнитните свойства в антиферромагнитната фаза. В антиферромагнитната фаза на свръхпроводящите купрати се наблюдава т.нар. двумагнно Раманово разсейване, при което фотонът отдава енергия на двойка магнитни възбуждания, т.е. на магнони, с еднакви по големина и противоположни по посока вълнови вектори. Понеже при този процес възникват магнони с вълнови вектори от цялата зона на Брилуен, двумагнното разсейване се характеризира с широка ивица в Рамановия спектър, чиято интензивност е съпоставима с интензивността на фононните Раманови линии. Двумагнното Раманово разсейване е един от експерименталните методи, дали най-изчерпателна информация за обменните взаимодействия в свръхпроводящите купрати.

В работата А8 чрез поляризационна Раманова спектроскопия е изследван друг интересен меден оксид – медният метаборат,  $\text{CuB}_2\text{O}_4$ . Съединението има богата магнитна фазова диаграма, която включва преход към съизмерима антиферромагнитна фаза при  $T_N = 21$  К и към несъизмеримо спиново подреждане при  $T^* = 10$  К. Магнитните преходи се обясняват с наличието на различни конкуриращи се магнитни взаимодействия – два вида обменно взаимодействие, взаимодействие на Дзялошински-Мория и магнитна анизотропия. Съединението има някои общи черти със свръхпроводящите купрати:

- слоеста структура с обособени ммед-кислородни равнини;
- медта се намира в четирикратно кислородно обкръжение и има спин  $\frac{1}{2}$ , както при купратите.

Тези факти ни наведоха до предположението, че в медния метаборат също би се наблюдавало изразено двумагнно разсейване, което би могло да даде ценна количествена информация за магнитните взаимодействия в съединението.

Монокристали  $\text{CuB}_2\text{O}_4$  бяха синтезирани от В. Томов (ИФТТ-БАН) и характеризирани чрез рентгенова дифракция от Р. Николова (ИМК-БАН) – вж. част II от публикацията.

Поляризационни Раманови измервания при стайна температура бяха направени от Н. Тодоров и М. Абрашев (Физически факултет – СУ) и при ниски температури – от М. Илиев (Texas Center for Superconductivity). А. Литвинчук направи DFT пресмятания на динамиката на решетката на съединението. Анализът на поляризационните правила за подбор за фоните в съединението е направен от Н. Тодоров и М. Абрашев (вж. т. А от част III на публикацията). Приносът на кандидата в настоящия конкурс се състои по-конкретно в следното:

- Разработване на теоретичен модел за двумагнно Раманово разсейване в съединението. Това е нестандартна задача, защото за разлика от свръхпроводящите купрати, мед-кислородните равнини в медния метаборат са магнитно свързани. Това води до възникване на допълнителни дисперсионни клонове в магнония спектър, които също трябва да бъдат отчетени при двумагното разсейване. Съответно теорията за двумагнно разсейване в свръхпроводящите купрати не може да бъде пренесена в случая на медния метаборат. Въз основа на разработения модел са изведени поляризационни правила за подбор при двумагнно разсейване в медния метаборат, които се оказват различни от съответните правила при свръхпроводящите купрати.
- В нискотемпературните Раманови спектри на съединението е идентифицирана широка ивица на разсейване, която се появява при преход в антиферромагнитно състояние. Установено е, че поляризационните правила за подбор за тази ивица съвпадат с теоретично предсказаните за двумагнно разсейване. По този начин е доказана първоначалната хипотеза, че в съединението се наблюдава двумагнно разсейване.
- Параметрите на теоретичния модел са напаснати така, че да бъде възпроизведена спектралната форма на двумагнонната ивица на разсейване. Въз основа на това са получени стойности на обменните интеграли, които се съгласуват отлично с получените чрез други експериментални методи – електронен спинов резонанс и нееластично разсейване на неутрони.
- Написана е основната част от публикацията – уводът, част III – т. В и С, и заключението.

## **Публикация А9**

Скоро след откриването на въглеродните нанотръби (CNT) стана ясно, че те може да бъдат използвани като „контейнер“ за различни химически- и биологично-активни молекули. В частност интерес представлява възможността за контролируема едномерна кристализация на инфилтрирани в нанотръбите вещества. Получените едномерни (1D) кристали взаимодействат със стените на нанотръбата посредством зарядов пренос, ван дер Ваалсови сили или чрез образуване на ковалентни връзки с въглеродните атоми. Този широк спектър от взаимодействия прави композитите 1D-кристал@CNT перспективни материали за съвременната наноелектроника.

Структурата и съставът на едномерните кристали обикновено се характеризират посредством електронна микроскопия с висока разделителна способност (HRTEM) и



EDX спектроскопия. Тези методи обаче не дават информация за електронната структура на нанокристалите и тяхното взаимодействие със стените на нанотръбата. Тези свойства обаче може да бъдат изследвани посредством Раманова спектроскопия поради чувствителността на честотите на Раманово-активните фонони към локалното атомно обкръжение. В съществуващите до този момент работи беше изследвано единствено влиянието на капсулирания едномерен кристал върху честотите на трептене на обкръжаващата го нанотръба. В работата А9 за първи път са детектирани собствените честоти на едномерен кристал живачен телурид с напречно сечение  $2 \times 2$  атома, капсулиран в едностенна нанотръба (HgTe@CNT). Основната идея на експеримента е подборното на подходяща честота на възбуждащото лазерно лъчение, при която резонират нормалните моди на едномерния кристал. Освен предизвикателствата от чисто експериментална гледна точка, в изследването трябваше да бъдат решени и два теоретични проблема:

- пресмятане на електронната структура на едномерния HgTe кристал, с цел да се установят очакваните честоти на междузонни електронни преходи;
- пресмятане на очакваните честоти и вектори на нормалните трептения на едномерния кристал с оглед на тяхното идентифициране в експерименталните спектри.

Приносите на авторите на публикацията са средните: E. Faulques, J. Sloan и D. Smith синтезираха композити HgTe@CNT и ги характеризираха чрез HRTEM и EDX. J. Spencer, J. Nesbitt, H. Trehitt, R. Kashtiban и G. Bell направиха Рамановите измервания при голям брой дължини на вълната, генерирани от Ti-сапфир лазер. Кандидатът в настоящия конкурс направи всички теоретични пресмятания чрез метода на функционала на плътността. По-специално:

- Чрез DFT пресмятания беше определена равновесната геометрия на свободен едномерен HgTe кристал. Беше установено, че пресметнатата константа на решетката и междуатомни разстояния съответстват на експериментално измерените чрез HRTEM. Така беше направен изводът, че взаимодействието между кристала и обграждащата го въглеродна нанотръба е сравнително слабо – от ван дер Ваалсов тип, и не влияе съществено на междуатомните разстояния.
- Бяха пресметнати електронните дисперсионни криви за едномерната зона на Брилуен на  $2 \times 2$  HgTe нанокристал и съответните коефициенти на оптично поглъщане. Беше установено, че пикът на оптично поглъщане на едномерния кристал се очаква при енергия около 1.5eV, т.е. в инфрачервената област.
- Бяха пресметнати теоретично честотите и очакваните интензивности на Раманово активните трептения на едномерния кристал и съответните им вектори на атомни отмествания. Беше установено, че най-интензивните линии в експериментално наблюдавания спектър на HgTe@CNT композита съответстват на радиални трептения на живачните и телурните атоми в едномерния кристал.
- В съответствие с извършените изследвания, бяха написани следните части от статията: описанието и интерпретацията на теоретичните резултати на страница 9049 и съответните части от заключението на стр. 5090, както и главите „DFT

calculation of Raman frequencies“ и „Electronic band structure“ от поддържащата информация (Supporting Information), достъпна онлайн на сайта на ACS Nano.

Резултатите от експеримента потвърдиха, че резонансната енергия на едномерния кристал е в инфрачервената област – около 1.37eV. Същевременно беше установено, че най-интензивните фонони на HgTe@CNT композита имат честоти съответно 47 и 51cm<sup>-1</sup>, които съответстват много добре на пресметнатите честоти на радиалните трептения на едномерния кристал – съответно 37 и 54cm<sup>-1</sup>. Интересен експериментален факт е, че при резонансна енергия на възбуждащото лъчение в Рамановия спектър се наблюдават хармонични и комбинационни честоти на двете трептения до седми порядък. Това е още едно доказателство за отнасянето на двете трептения към симетрични радиални трептения на едномерния HgTe кристал.

Резултатите от работата, както и сходни изследвания са докладвани на конференциите D4–D7, D9 и D11.

### **Публикации A10 и A11, заявка за патент E1**

Две публикации имат изцяло експериментален характер и се отнасят до ефекта, известен като SERS (Surface Enhanced Raman Scattering – повърхностно усилено Раманово разсейване). Ефектът се състои в усилване до 6 порядъка на Рамановото разсейване от вещества, адсорбирани върху повърхности на определени метали с релеф на микро и нанониво. Той се обяснява с резонансно възбуждане на повърхнинни плазмони от падащото лазерно лъчение, което води до електродинамично усилване на локалното електрично поле около нееднородностите на металната повърхност. За да настъпи SERS във видимия спектрален диапазон, металът трябва да има отрицателна реална част и много малка имагинерна част на диелектричната проницаемост. В най-голяма степен на тези условия отговаря среброто и то се използва като основен материал при изработване на SERS подложки. Подобни свойства имат и златото, платината, медта и алуминият, но тяхното използване е ограничено или поради високата им цена (злато, платина), или поради лесното оксидиране на повърхността (мед, алуминий). Затова намирането на достатъчно евтини и в същото време химически устойчиви алтернативи на тези метали е актуален научен проблем.

Първоначално работата A10 беше планирана като рутинно Раманово изследване на ниобиеви повърхности, обработени с фемтосекундни лазерни импулси. Лазерните импулси формират специфична морфология на повърхността, която често има периодичен характер. Рамановата спектроскопия се очакваше да даде отговор на въпроса дали при обработката повърхността се оксидира. Действително Рамановите спектри потвърдиха наличието на някои ниобиеви оксиди върху обработените части на повърхността. Интересен обаче беше фактът, че върху някои микрограпавини, образувани след лазерното третиране, се наблюдаваха остри спектрални линии с честоти, съответстващи на ароматни органични съединения. Беше предположено, че това са органични замърсявания, например от случайно докосване на повърхността с ръка. Затова повърхността беше старателно почистена с концентриран разтвор на етилов алкохол. Изненадващо, след почистването спектрите на „замърсяванията“ не

само не изчезнаха, но се появиха с по-висока интензивност върху лазерно третираната повърхност. Търсене в литературата показва, че наблюдаваният спектър съответства на толуена  $C_6H_5CH_3$  (известен още като толуол). Справка в спецификацията, дадена от производителя на спирта, показва, че етанолът съдържа следи толуен с концентрация под 20 ppm. За сравнение, най-ниските концентрации толуен, детектирани чрез SERS от стандартни сребърни повърхности, по литературни данни са над 500 ppm. Така беше направен изводът, че грапавата ниобиева повърхност играе ролята на високоефективна SERS подложка. След това SERS свойствата на повърхността бяха изследвани контролируемо в разтвор на Rhodamin-6G, като коефициентът на усилване за родамина беше оценен от порядъка на  $10^3$ . Основният извод от работата е, че лазерно обработеният ниобий е перспективен материал за SERS подложки. Беше установено, че за разлика от медта, той запазва своите SERS свойства дори след оксидиране. От друга страна монолитната ниобиева повърхност е механически много по-устойчива от традиционните сребърни и златни подложки, състоящи се от слабо свързани метални наночастици.

Приносите на авторите към публикацията са следните:

- Е. Влахов (ИФТТ-БАН) извърши първоначалната подготовка на ниобиевите повърхности за лазерна обработка.
- G. E. Stan (Национален институт по физика на материалите, Румъния), M. Zamfirescu, C. Albu, N. Mihailescu, I. Negut, C. Luculescu, M. Socol, C. Ristoscu и I. N. Mihailescu (Национален институт по лазери, плазма и радиационна физика, Румъния) обработиха ниобиевите повърхности с фемтосекундни лазерни импулси и ги характеризираха чрез SEM и EDX.
- Кандидатът по настоящия конкурс направи Рамановите измервания, формулира изводите от получените резултати и написа увода, частите от раздел II и раздел III, описващи Рамановите измервания и заключението.

В работата A11 са изследвани SERS свойствата на златни наноструктури, получени чрез двуфотонно директно лазерно писане (2-PDLW – 2-photon direct laser writing). Методът 2-PDLW е подобен на класическата сребърна фотография, но за разлика от нея се основава на двуфотонна дисоциация на сребърни или златни соли, при която се отлагат метални наночастици. Поради двуфотонния характер на процеса наночастиците може да бъдат депозиращи в области с размери на порядък по-малки от дифракционната граница. Това позволява чрез контролируемо лазерно сканиране на фоточувствителна подложка върху нея да се „изписват“ наноивици, съставени от златни или сребърни частици. Плътноста на отложените наночастици зависи от лазерната мощност и от скоростта на сканиране.

Изработени по метода 2-PDLW периодични златни нанорешетки бяха третирани с разреден разтвор ( $10^{-5}$  M) на Rhodamin-6G. Беше установено SERS усилване на линиите на родамина от порядъка на  $10^4$ . Оказа се обаче, че Рамановите линии, макар и интензивни, са маскирани от силен луминесцентен фон. Беше направен извод, че във воден разтвор молекулите на родамина не проникват на достатъчно малко разстояние до златните наночастици поради голямото повърхностно напрежение на водата.

Следващата серия експерименти беше направена чрез третиране на златните наноструктури с ксилен,  $C_6H_5(CH_3)_2$  – органичен разтворител с ниско повърхностно напрежение. Ксиленът е известен и с много слабия си Раманов спектър, който се губи на фона на значително по-силната фотолуминесценция във видимия диапазон. Върху третираните наноивици беше регистрирано усилване на Рамановия спектър на ксилена от 4000 до 30 000 пъти, което значително превишава усилването на луминесцентния фон. Беше установено, че усилването е пропорционално на погълнатата при лазерното писане енергетична доза. Този резултат беше обяснен с факта, че при увеличаване на дозата се повишава плътността на наночастиците. Съответно се повишава вероятността от образуване на т.нар. „горещи точки“ – точков контакт между две наночастици, около който се получава значително по-мощно електродинамично усилване, отколкото около изолирани наночастици.

Приносът на авторите към работата е следният:

- Т. Rittasso и М. Giocondo (Университет Калабрия, Италия) изработиха подложки с отложени златни наноструктури чрез метода 2-PDLW и ги характеризираха чрез сканираща електронна микроскопия. Т. Rittasso участва при написването на част 2 от публикацията, в която се описва технологията на получаване на златните наноструктури.
- Е. Влахов (ИФТТ-БАН) извърши заключителната химична обработка на подложките – разновидност на традиционното фотографско проявяване, при което органичната матрица, в която са отложени наноструктурите се премахва химически.
- Н. Тодоров и Л. Петров (Физически факултет – СУ) направиха Рамановите измервания след третиране на наноструктурите с разтвор на родамин. Следва да се отбележи, че по това време Л. Петров беше студент бакалавър и тези измервания бяха част от обучението му по избираемата дисциплина „Раманова спектроскопия“ с титуляр М. Абрашев и асистент Н. Тодоров.
- Кандидатът в настоящия конкурс планира Рамановите експерименти, извърши Рамановите измервания след третиране на образците с ксилен и написа частите 1, 3 и 4 на публикацията.

Поради приложния характер на публикациите A10 и A11, получените в тях резултати представляват интерес за внедряване в практиката. В тази връзка по-нататъшните изследвания в тази посока не са публикувани. Върху резултатите от A9 и следващи доуточняващи изследвания е подадена заявка № 12167/04.12.12 за национален патент – приложено е копие E1 от подадената заявка. Подаването на патентната документация е финансирано от ИФТТ-БАН чрез проекта ИНЕРА (GA316309) към 7. Рамкова програма на ЕС. Заявката е в процедура на разглеждане. В момента е в ход подготовка на патентна документация върху резултатите от публикацията A11.

Работата A11 е докладвана на конференцията D8.

## Публикация А12

Нерядко на Международните олимпиади по физика се предлагат задачи, които се основават на актуални научни проблеми – често пъти нерешени напълно. Такава е например втората експериментална задача, предложена на 41. Международна олимпиада по физика, гр. Загреб, Хърватия. В задачата се изследва експериментално взаимодействието между две коаксиални намагнитени тела – пръстеновиден магнит и цилиндричен магнит. Трябва да бъдат определени равновесните положения на системата и тяхната устойчивост, както и зависимостта на силата от разстоянието между центровете на телата. Опитът показва наличието на пет равновесни положения и сложна зависимост на силата от разстоянието с редуващи се области на привличане и отблъскване. Въпреки наглед простата геометрия, в литературата не са публикувани теоретични модели, третиращи магнитните взаимодействия в подобна магнитна система.

В работата А12 кандидатът в конкурса разработва теоретичен модел, който, при някои опростяващи предположения, позволява задачата да бъде решена точно, и то със средства на училищната физика. Полето на пръстеновидния магнит се моделира с два коаксиални Амперови тока, а на цилиндричния магнит – с „магнитни заряди”, разположени в краищата на магнита. Предложен е качествен подход за определяне на броя, вида и координатите на равновесните положения на системата. Пресметнатата зависимост на силата от разстоянието се съгласува отлично с експерименталните данни и позволява определяне на остатъчната намагнитеност на взаимодействащите тела.

Публикацията има приложна и образователна насоченост. От една страна се решава интересен инженерен проблем, който в други геометрични постановки и към днешна дата е предмет на изследване в специализирани издания като IEEE Transactions on Magnetism (вж. цитираната в публикацията литература). От друга страна простотата на теоретичния подход позволява задачата – при комбиниране на нейния експериментален и теоретичен вариант, да се използва в проектно-ориентирано обучение по електричество и магнетизъм в уводните курсове по физика на университета. След 2010 г. задачата, в двата ѝ варианта – експериментален и теоретичен, се използва от кандидата в конкурса (заедно с проф. М. Абрашев) и при подготовката на националния отбор за участие в Международната олимпиада по физика.

## Публикация А13

Амфиболите са широк клас от силикатни минерали със сходна кристална структура, (моноклинна  $C2/m$ ) и с обща химична формула  $AB_2C_5T_8O_{22}W_2$ , като различните кристалографски позиции са заети от един или няколко вида йони, както следва:  $A = Li^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}$  или  $\square$  (ваканция);  $B = Na^+, Ca^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Li^+$ ;  $C = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}, Ti^{4+}, Li^+$ ;  $T = Si^{4+}, Al^{3+}, Ti^{4+}, Be^{2+}$ ;  $W = OH^-, O^{2-}, F^-, Cl^-$ . Различните минерали от групата на амфиболите се характеризират с различен йонен състав на различните кристалографски позиции. Температурата и налягането, при която кристализират амфиболите, зависи силно от техния химичен състав, поради което тези минерали са ценни барометрични и термометрични маркери в геологията.

Затова изучаването на химичния състав на природните амфиболи е актуална и важна задача в съвременните геологични проучвания.

Елементният състав на амфиболите може да бъде установен посредством сканираща електронна микроскопия (SEM-EDX), по известна в геологията и минералогията като EMPA от Electron Micro Probe Analysis. Този метод обаче не е чувствителен към състава на конкретни кристалографски позиции, а към общото съдържание на даден елемент в изследваната структура. Затова Рамановата и инфрачервената спектроскопия на поглъщане са незаменими допълнителни аналитични методи, които са чувствителни към трептения на атомите в отделните кристалографски позиции. По-специално, в литературата се отделя основно внимание на анализа на фината структура на вибрационната ивица, съответстваща на надлъжните ОН трептения. Броят и честотите на спектралните компоненти позволява да се установи с добра точност катионния състав на С-позициите, както и наличието на ваканции в А позициите. В някои минерали от тази група обаче вибрационната ОН ивица е с много ниска интензивност и изследването на фината ѝ структура е крайно неточно или дори невъзможно. Затова все още остава нерешен въпросът за отнасянето на нискочестотните Раманови линии в спектъра на амфиболите към трептения на специфични метал-кислородни връзки.

Повод за настоящата работа е откриването през 2016 г. на нов минерал от групата на амфиболите – калиево магнезиевият арфедзонит (РМА от potassic-magnesio-arfedsonite) от М. Дюлгеров (Геологогеографски факултет на СУ). Закономерно възникнаха следните нерешени в литературата задачи:

- Да бъде изследван Рамановият спектър на новооткрития минерал и да се установи как характеристичните Раманови линии са свързани с елементния състав на отделните кристалографски позиции;
- Да бъдат установени поляризационните правила на подбор за Рамановите линии;
- Да бъде разработен теоретичен модел за динамиката на кристалната решетка на амфиболите, чрез който Рамановите линии в нискочестотната част на спектъра да бъдат отнесени към трептения на определени катион-кислородни връзки.

Приносът на отделните съавтори към работата е следният. М. Дюлгеров набави в полеви условия образци от изследвания минерал, подготви тънки срезове, подходящи за Раманови измервания, и установи чрез изследване под поляризационен микроскоп ориентацията на наблюдаваните в срезове кристални повърхности. Съответно М. Дюлгеров написа частта от увода, която третира свойствата на РМА и частта от раздела „Материали и метод“, в която се описва подготовката и характеризирането на кристалографската ориентация на срезове. R. Oberti (CNR-Istituto di Geoscienze e Georisorse към Университета в Павия, Италия) изследва химичния състав на минерала чрез EMPA, установи кристалната му структура чрез рентгенова дифракция и написа съответната част от раздела „Материали и методи“. Кандидатът в конкурса има следните приноси:

- Извърши поляризационни Раманови измервания от кристали РМА с предварително уточнена ориентация;

- Обработи и интерпретира експерименталните данни;
- Разработи теоретичния модел, чрез който бяха интерпретирани резултатите;
- Написа основната част от публикацията и беше кореспондиращ автор.

Най-важните резултати от тази работа може да бъдат формулирани така:

- Експериментално е изследван Рамановият спектър на новооткрит минерал;
- За първи път моделът на валентните обвивки е приложен за изследване на динамиката на минерал от семейството на амфиболите. От теоретична гледна точка са предложени два оригинални подхода. Първо, за да се симулира катионния безпорядък в различните кристалографски позиции, чрез методи Монте-Карло са генерирани случайни катионни конфигурации, като за всяка от тях са извършени съответните динамични пресмятания. Второ, за да се оцени приносът към Рамановия спектър на всяка от конфигурациите, е използван методът на поляризуемост на връзките, който също се използва за първи път за съединение с толкова сложен елементарен състав.
- Чрез сравнение на експерименталните Раманови спектри с теоретично генерираните парциални Раманови спектри голяма част от линиите в нискочестотната част от спектъра бяха отнесени към трептения на определени метал-кислородни връзки. В частност, триплетът от линии при 467, 540 and 589  $\text{cm}^{-1}$  е отнесен еднозначно към надлъжни трептения на  $\text{Fe}^{3+}$  –O връзки и следователно може да се използва като спектроскопичен маркер за тривалентно желязо в амфиболите.

Работата е докладвана на конференцията D10.

### **Публикации В1–В13, В15–В19**

Тези публикации са свързани с дейността на кандидата за съставяне на теми за националните състезания и олимпиади по физика, както и с подготовката и селекцията на отбора за Международната олимпиада по физика. Те съдържат оригинални авторски задачи, съобразени с учебното съдържание по физика в средното училище. Освен теми, предназначени за отделните класове, на националните състезания се предлага и т.нар. „специална тема” по програмата на Международната олимпиада по физика (МОФ). Задачите от специалната тема съответстват като трудност на университетските курсове по обща физика от първи до трети курс. Специалната тема е предназначена за най-добре подготвените ученици, които имат амбиция да се състезават за място в националния отбор, представящ страната ни на МОФ. При съставянето на задачи за олимпиади и състезания винаги съм се ръководил от следните принципи, които нерядко са значително предизвикателство:

- Задачите трябва да са нови като постановка и да не повтарят (поне в съществената си част) вече предлагани задачи на други състезания у нас или в чужбина.

- По възможност задачите трябва да се отнасят за реални обекти и явления, така че да стимулират интереса на учениците към физиката и да формират умения за съставяне на физически модели.
- Съществените резултати трябва да бъдат получени посредством достъпни за учениците знания по физика и математика.

Съавторите в тези публикации имат равен и независим принос, без да има водещ автор. Всеки от авторите представя конкретна тема или задачи, предложени на съответното състезание. Приносът на кандидата в този конкурс към всяка от изброените публикации е даден в таблицата по-долу.

Публикация	Тема или задача, предложена от кандидата
V1	Задача 1: А) „Търкаляща се макара” и Б) „Фотонна ракета”
V2	Задачи 1,2 и 3
V3	Тема за 11. и 12. клас
V4	Специална тема
V5	Задача 3: Отблъскващи се частици
V6	Задача 2 от първата група и задачи 4,5 и 6 от втората група
V7	Тема за 11. и 12. клас
V8	Задача 3: „Сапунен мехур“
V9	Тема за 10. клас
V10	Специална тема
V11	Задача 2: Параболично огледало
V12	Тема за 7. клас
V13	Специална тема
V15	Специална тема – задача 2 „Генератор на Тесла”
V16	Тема за 7. клас; Тема за 10.–12. клас – задача 3 „Светодиод”
V17	Тема за 7. клас – задачи 1 и 2; Специална тема – задача 2 „Брауново движение”
V18	Тема за 7. клас
V19	Тема за 8. клас

Публикуването на тези задачи заедно с методически указания за решаването им е важно за широк кръг читатели:

- Ученици, които имат трайни интереси към физиката и се подготвят за олимпиади, състезания и изпити по физика.
- Учители, които водят извънкласни занимания по физика.
- Преподаватели от ВУЗ, които искат да се ориентират в нивото на постъпващите кандидатстуденти или да заимстват идеи при преподаването на физика в началните курсове на университетите.

Затова тези задачи са публикувани на български език в достъпното за всички списание Физика, издавано от МОН, вместо да бъдат изпращани в индексирани в SCOPUS списания с платен достъп като American Journal of Physics, Physics Education или European Journal of Physics. За съжаление списание Физика престана да бъде издавано



от МОН през 2013 г. Едва наскоро то беше възстановено като издание на Съюза на физиците в България.

Измежду всички предложени задачи, по-подробно ще се спра на тези, които са изцяло оригинални като постановка и същевременно може да бъдат използвани и при обучението на студенти от началните курсове по обща физика.

В публикацията В1 такава е задачата „фотонна ракета”, която в контекста на футуристичен проект въвежда законите за запазване на енергията и импулса в релативистичен вариант.

Публикациите В2 и В6 се основават на контролни работи, проведени за селекция на отбора за Международната олимпиада по физика. Интерес представлява например задача 1 от публикацията В2, която макар и проста като формулировка, не е предлагана в литературата по-рано. В нея се търсят условията, при които се нарушава равновесието на вертикална стена, преграждаща водоем. Учениците (студентите) трябва да съобразят дали първо ще бъде нарушено равновесието по отношение на хоризонтално отместване или преобръщане на стената.

В публикация В4 интерес представляват задачите „Разхлабена струна” и „Ако имаше магнитни заряди”. В първата задача се разглеждат нормалните трептения на струна, единият край на която е свързан към подвижна тежест. Освен, че в задачата се упражняват основни съотношения за вълново движение, решението изисква прилагане на числени методи за намиране на корените на уравнение – метод на Нютон или итеративен подход. Това я прави подходяща за разглеждане в контекста на различни университетски курсове – обща физика, математични методи на физиката, програмиране и изчислителна физика. Втората задача е адаптиран вариант на оригиналната работа на Пол Дирак за магнитните монополи. В контекста на магнитните монополи учениците или студентите прилагат основни знания за електрични и магнитни явления – теорема на Гаус и закон на Фарадей, както и начални знания по квантова физика – вълни на дьо Бройл или квантуване на момента на импулса.

В публикацията В10 задачата „Водородна молекула” се основава на оригинална работа на Нилс Бор от 1913 г., в която той се опитва да разшири модела на водородния атом към по-сложни многоелектронни системи, включително молекули. С достъпни средства – принципите на механиката, закона на Кулон и правилото на Бор за квантуване на момента на импулса, учениците или студентите анализират образуването на химична връзка във водородната молекула на езика на стационарни орбити. Получените стойности за енергията на връзка и за междуатомното разстояние в молекулата са в рамките на 30% отклонение спрямо експерименталните стойности.

В публикацията В13 бих обърнал внимание на задачата „Маглев влак”, в която се анализира принципа на електроматнитно задвижване на свръхбързите влакове маглев (от magnetic levitation). С достъпни за студентите от началните курсове знания – магнитна индукция, сила на Ампер и трифазен ток, се получава реалистични оценки за максималната скорост, достижима при този вид задвижване.

Най-накрая бих се спрял на задачата „Гопче във въздух“ от публикацията В19. Въпреки, че е предназначена за ученици от 8. клас, тя е подходяща и за студенти от началните курсове. В задачата се предлага достъпен за учениците модел, който описва две наглед несвързани явления – охлаждането на нагрети тела в студен въздушен поток, както и загряването на бързодвижещи се тела във въздух.

### **Публикация В14**

Това е публикация иницириана от група преподаватели от ВУЗ и учители по физика в гимназията, в която се анализират действащите тогава програми по физика и астрономия в средното училище и се набелязва стратегия за тяхната промяна или оптимизиране. Приносът на кандидата в настоящия конкурс е свързан с анализ на учебното съдържание в третия етап на обучението по физика – 11. и 12. клас на гимназиите, когато физиката се изучава само в рамките на профилирана подготовка. Част от предложените промени станаха факт при разработване на учебните програми за втория гимназиален етап, които предстои да влязат в сила от учебната 2019-2020 година.

### **Публикация С1**

Публикацията е сборник със задачи по физика за гимназиите и обхваща целия предвиден по учебна програма материал. Всяка тема започва с кратък теоретичен увод, следват решени примери, и най-накрая – задачи за самостоятелно решаване. Включени са задачи с различна степен на трудност – както от материала за задължителна подготовка, така и по-сложни задачи от профилираната подготовка. Повече от десет години сборникът се използва успешно от ученици, подготвящи се за олимпиади, състезания и матури, както и от учители, водещи школи по физика. Димитър Мърваков, ръководител на колектива, е автор на първата част – „Електричество и магнетизъм“. Кандидатът в настоящия конкурс написа част 2. Трептения и вълни, 3. Светлина и 4. Движение и енергия. Поради големия обем на сборника и поради факта, че той вече е изчерпан от търговската мержа, в хартиен вариант са представени титулната страница и съдържанието. Пълният текст е даден в електронен вариант на приржения към документите компактдиск.

### **Публикация С2**

Това е учебно помагало за абитуриенти, които се подготвят за матура по физика и астрономия или за кандидатстудентски изпит по физика. За разлика от други сходни книги, тук не са дадени примерни тестове. Вместо това са разработени темите от учебната програма и са анализирани най-типичните задачи и тестови въпроси по всяка тема. Кандидатът в конкурса написа текста на книгата, а М. Иванова, като действащ учител, апробира задачите в реална училищна среда.

Помагалото не е достъпно в електронен вид, поради което е представено само като книжно тяло.

### Публикация С3

Публикацията е одобрен от МОН учебник по физика и астрономия за 8. клас. Учебникът е написан по новата учебна програма, влязла в сила от 2017 г. Частите на учебника са написани както следва:

- Виктор Иванов – темите „Неравномерно движение”, „Принципи на механиката”, „Механична работа, мощност и енергия”, „Преходи между състоянията на веществата”, „Топлинни машини”;
- Мая Гайдарова – темите „Равновесие на телата”, „Механика на течности и газове”;
- Димитър Мърваков – темите „Топлинно движение”, „Топлообмен”, „Процеси с идеален газ”;
- Мариета Иванова – съпътстващите учебника помагала – работна тетрадка и електронен учебник.

Учебникът не е достъпен в електронен вид, поради което е представено само като книжно тяло.

### Публикация С4

Публикацията е одобрен от МОН учебник по физика и астрономия за 7. клас. Учебникът е написан по новата учебна програма, влязла в сила от 2018 г. Частите на учебника са написани както следва:

- Димитър Мърваков – темата „Атоми и атомни ядра”;
- Виктор Иванов – раздела „Електричен ток” и темата „Звук”;
- Мая Гайдарова – темите „Праволинейно разпространение на светлината”, „Светлина и цветове”, „Огледала и лещи”;
- Петко Недялков – темата „Слънчевата система и светът на звездите”;
- Илона Мирчева – работната тетрадка към учебника;
- Мариета Иванова – електронните ресурси към учебника.

Учебникът не е достъпен в електронен вид, поради което е представено само като книжно тяло.

### Публикация С5

Публикацията е одобрен от МОН учебник по физика и астрономия за 9. клас. Учебникът е написан по новата учебна програма, влязла в сила от 2018 г. Текстът на учебника е написан от Виктор Иванов. Мариета Иванова е автор на съпътстващите учебни помагала – работна тетрадка, книга за учителя и електронните ресурси към учебника. Учебникът не е достъпен в електронен вид, поради което е представено само като книжно тяло.

София, 16.08.2018 г.

Изготвил справка: доц. дфзн/Виктор Иванов/