

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на научната степен „доктор на науките“ в професионално направление 4.1 „Физически науки“, по процедура за защита в Института по физика на твърдото тяло – БАН.

Автор на дисертационния труд: Боян Тонев Торосов, доцент, доктор.

Тема на дисертационния труд: *„Квантов контрол с приложения в квантовите технологии“*.

Рецензент: Хассан Шамати, доктор на физическите науки, професор, Институт по физика на твърдото тяло – БАН, член на научното жури, съгласно заповед № РД-09-32 / 31.03.2026 г. на директора на Института по физика на твърдото тяло – БАН.

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

Изследванията, на които се основава дисертационният труд на доц. д-р Торосов, са посветени на един от най-актуалните и същевременно един от най-интригуващите проблеми на съвременната наука, а именно квантов контрол посредством електромагнитни импулси. Това позволява да се направлява изменението на амплитудата, фазата и поляризацията на светлинни или микровълнови полета за управлението на квантови състояния и оттам усъвършенстване на определени квантови процеси, премахване на грешки вследствие на шум и управление на преходи между енергийни нива за различни практически задания като квантови изчисления, направляване на химични процеси и спектроскопия. Видно е, че освен големият интерес, който представлява за фундаменталната наука, тази тематика е важна и за конкретни приложения в квантовата технология, която представлява границата на физиката с математиката и приборостроенето.

От цялостното изложение на материала става ясно, че кандидатът е много добре запознат с актуалното състояние на проблема, както в по-общ теоретичен план, така и от гледна точка на разработваните модели и теоретични методи за изследването им. В това отношение той показва завидно умение да използва и съчетава както аналитични, така и разнообразни числени методи. Допълнителен аргумент в подкрепа на качествата на дисертацията е значителният брой литературни източници, подбрани умело сред изобилието от научни трудове по тематиката през последните години.

2. Кратка аналитична характеристика на материала

Дисертационният труд е написан върху 165 страници и съдържа 7 глави, 73 фигури и 16 таблици. Глава първа дава кратък увод в квантовия контрол и прави преглед на разнообразните модели и методи за осъществяването му. Тази глава завършва с кратко описание на съдържанието на останалите шест глави. Изследванията и оригиналните резултати на кандидата са изложени в главите от втора до шеста. Глава седма обобщава научните приноси на кандидата и представя набор

от нерешени задачи както и потенциала за продължаването на изследванията в тази област. Останалата част от дисертацията представлява библиография от 183 литературни източника и списък от петнадесетте публикации, залегнали в основата на този труд.

Изследванията на доц. д-р Боян Торосов са свързани с управление на квантови системи посредством електромагнитни вълни, в частност лазерни лъчи, с помощта на различни подходи: кохерентни техники, адиабатни методи и такива на базата на съставни импулси или съчетание на тези методики за постигане на по-добра ефективност на квантовата системата. Те имат предимно фундаментален характер и целят намиране на възможни практически приложения на динамични процеси от квантовата физика в оптиката, електрониката и предаване на информация.

Втората глава е посветена на приспособяване и обобщаване на техниката на съставните импулси, първоначално развита за премахване на системни грешки при анализ на спектрите от ядрено-магнитен резонанс. Съставните импулси съчетават ефективен контрол над динамиката на системата и устойчивост при изменения на параметрите ѝ. Методът е използван за намирането в адиабатното приближение на аналитичен, в затворена форма, израз на вероятността на прехода на обобщен модел, с две нива, с честота Раби, изразена чрез хиперболичен секанс с фазов скок при своя максимум и честотна разлика (разстройка) с постоянна компонента и честотно модулиран член изразен с хиперболичен тангенс. Така дефиниран, моделът съдържа в себе си известни в литературата гранични случаи: модел на Демков-Кунике и неговите частни случаи (Розен-Зенер, Алън-Ебърли и Бамбини-Берман) при нулев скок. Наличието на ненулев скок води до големи изменения в поведението на вероятността на прехода, която зависи от височината на скока. Предложен е системен подход за генериране на множество гладки, като функция на времето, съставни импулси за квантов контрол с помощта на ултракъси неправоегълни лазерни импулси. Показано е, че при резонанс, формата и фазата на импулса нямат ефект върху съставните структури. Тази констатация, остава вярна и за съвкупности, съставени от до пет идентични единични импулса. Методът е ефективен за оптимизация на адиабатния преход чрез използване на съставни структури, които потискат неадиабатните осцилации във вероятността за преход и да се редуцира до минимум грешката при квантови изчисления дори и при малък брой импулси. Разработен е и друг подход за построяване на съставни импулси с малка площ, които удовлетворяват условието за оптимално решение между площта на профила на възбуждане и точност. Направен е обстоен анализ на съставни структури от идентични ултраширококолентови и ултратясноколентови възбуждения. Показано е, че построените съставни импулсни структури превъзхождат своите конвенционални аналози и са по-надеждни от адиабатните техники. Предложени са устойчиви на експериментални грешки съставни импулсни структури, които генерират произволни предварително зададени завъртания на система с две състояния върху сферата на Блох. Получени са два класа съставни структури: единични и сдвоени. Показано е, че вероятността за преход на всяка съставна структура се изразява в затворена аналитична форма. Изводите в тази глава показват изключителния потенциал на съставните импулси в съчетание с

прецизност и устойчивост на грешки.

Третата глава развива прецизна методика за кохерентно управление на квантови системи с три нива. Математическият апарат съчетава два известни в литературата подхода, а именно стимулиран раманов адиабатен преход и съставни импулси, като по този начин редуцира до минимум изчислителните грешки и дава възможност да се пресметнат съставните фази в затворена аналитична форма. Показано е, че тези фази са универсални и не зависят от основните черти на импулсите. Предлага се съчетание на съставни импулси и отражението на Хаусхолдър и е показано, че тази техника е прецизна и е много подходяща за квантово управление, благодарение на устойчивостта ѝ на изменения на експерименталните параметри. Разработен е подход за построяване на устойчиви и прецизни квантови логически гейтове с Раманови кубити на базата на съставни импулси. Използвани са преобразуванията на Морис-Шор и Майорана с цел свеждане на раманова система с три нива до подобна такава с две състояния. Изградени са гейтовете NOT, Адамар и ротационен гейт с помощта на преобразованието на Морис-Шор. Предимството на метода е получаването на съставни гейтове, устойчиви на експериментални грешки.

Глава четвърта е посветена на експериментално изучаване на поведението на последователни съставни импулси с помощта на квантов процесор на IBM със свободен достъп. Проведен е голям брой експерименти върху импулси с различни форми. Получени са профилите на възбуждане за редица широколентови, тяснолентови и правоъгълни съставни импулси с произволни вероятности. Извършени са изпитания и върху универсални съставни импулси и е получено много добро съгласие между теоретичните и експерименталните профили на възбуждане. Този резултат демонстрира високата производителност на съставните импулси като мощен инструмент за квантов контрол, така и надеждността на квантовия процесора на IBM. С цел подобряване на експерименталните резултати е проведено изпитание върху съставна последователност от 1001 импулса, за която е получен ясно изразен тяснолентов профил на възбуждане.

Глава пета разглежда ефекти свързани с неермитово квантово управление. Предложно е обобщение на стимулирания раманов адиабатен преход с използване на неермитов хамилтониан без неадиабатното взаимодействие с цел повишаване на скоростта и точността на изчисленията. Показано е, че методът може да се приложи за пренос на светлина в три еванесцентно свързани оптични вълновода. Установено е, че методът е неприложим за произволни видове импулси, силно зависи от началните условия и е ограничен до режим на резонанс. Изведено е точното решение на псевдоермитовия хамилтониан на Ландау-Зенер-Щюкелберг-Майорана с външно кохерентно поле. Разгледани са възможни практическия приложения във вълноводна оптика и нелинейно честотно преобразуване.

Глава шеста предлага мощен и същевременно лесен за изпълнение метод за идентифициране на хирални молекули на базата на три последователни импулса за управление на затворена квантова система с три състояния. Разкрити са дванадесет различни поредици от резонансни импулси с високо контрастно хирално разделяне и са идентифицирани характеристиките на импулсите. Методът е при-

ложен за конкретни случаи за хирално разделяне с помощта на съставни импулси, които служат за оптимизиране на параметрите на изследвания модел. Във втората част са представени два метода, за откриване на хирални молекули, базирани на последователни единични и сдвоени раманови импулси. Молекулите представляват затворена система с три състояния. В първия случай се използва система съставена последователно от единичен импулс, Раманов импулс и единичен импулс. Другата система е смес от раманов импулс и единичен импулс. Обобщението на двете системи с замяната на единичния и рамановия импулси със съвкупност от последователни съставни импулси води до по-високо разделяне на сигнала и значителна устойчивост на експериментални грешки. Това показва, че те могат да се използват като съставни импулси с произволно завъртане със свои предимства и недостатъци.

Последната седма глава описва подробно научните приноси върху, които се защитава дисертацията и направленията за въдещото развитие на изследванията на квантовия контрол в научно и научнопоприложен аспекти.

3. Научни или научно-приложни приноси

От горния анализ се вижда, че научните приноси в дисертацията са предимно от фундаментален характер, но могат да се използват и в практиката за напредъка на квантовите технологии. Те са многобройни и са свързани с изясняването и обосноваването на важни теоретични постановки, получаване и доказване на нови факти в областта на квантовата физика. По конкретно, те са свързани с разработване на концепции и теоретични подходи в областта на квантовата физика и приложението ѝ в оптиката и квантовата информация; разработване на оригинални теоретични методи за решаването на определени физически проблеми, свързани с управлението на квантовите системи с потенциал за употреба във важни практически приложения в квантовата информатика и квантовите изчисления.

4. Преценка на публикациите по дисертационния труд, личен принос

В своята дисертация Б. Торосов си е поставил задачата за разработване и прилагане на теоретични подходи, които способстват за ефективното управление на динамиката на сложни моделни системи. Това представлява несъмнено много трудоемка, сложна и без съмнение актуална задача с фундаментално значение и огромен потенциал за приложение. Дисертацията е написана въз основа на 15 научни труда, публикувани в издания, реферирани и индексирани в световноизвестните бази данни за научна информация (Web of Science и SCOPUS): Physical Review A – 10, Physical Review Research – 2, Physical Review Letters – 1, Journal of Physics B – 1 и Physical Review Applied – 1. Всички тези списания притежават квартал Q1 за годината на публикуване или най-близката до нея година съгласно метриката SJR (<https://www.scimagojr.com/>). Това отговаря на основното изискване на Научния съвет на ИФТТ, а именно *„Минимум 15 публикации с импакт фактор, в които кандидатът трябва да има водещ принос, като минимум 8 от тях не трябва да са били използвани в предишни процедури за придобиване на научнообразователни степени, както и за заемане на академични длъжности. От тези 8 публикации, поне 4 трябва да са с квартал Q1, а останалите 4 с квартал*

Q1 или Q2.“

Съгласно декларация, представена от дисертанта, 11 от 15-те труда включени в дисертационния труд не са използвани в предишните процедури за придобиване на научната степен „доктор“ и за заемане на академичната длъжност „доцент“. Научните трудове са публикувани в престижни международни специализирани издания след като са били обект на строги процедури за рецензиране. Това доказва оригиналността на отразените в тях научни приноси, на които е изработена дисертацията. Ще отбележа, че предвид това, че преди публикуване ръкописите са били обект на проверка за плагиатство, изключвам възможността за такова подкакто и да е форма в представените за рецензиране материали.

Научните трудове са резултат на участието на кандидата в колективи: 6 от тях са с един съавтор и 8 с двама съавтори. Във всичките трудове, д-р Торосов е на първо място в авторския колектив, което ми дава основание да считам, че той има водеща роля в разработването на научните приноси. В научните трудове на д-р Торосов има сериозни научни постижения. Резултатите, залегнали в тях, са добре признати от научната общност и са представени като поканени доклади на реномирани международни научни конференции и школи или научни семинари. По данни, предоставени от кандидата, общият брой на забелязаните независими цитирания в международните бази данни за научна информация (Web of Science и Scopus) е 477. Публикациите под номера 2, 3, 7, 11 и 12 имат най-голям отзвук в литературата. Те са цитирани, съответно, 61, 98, 43, 65 и 66 пъти. Боян Торосов има научни сътрудничества както с чуждестранни, така и с български учени и е участвал в редица научноизследователски проекти, финансирани от национални и международни организации.

Изпълнението на минималните изисквания от доц. д-р Торосов за придобиване на научната степен „доктор на науките“ в професионално направление 4.1 „Физически науки“ се обобщават в следната таблица:

Група от показатели	Показатели	Правилник ЗРАС РБ	Изисквания ИФТТ-БАН	дисертант
А	1	50	50	50
Б	2	100	100	100
В	-	-	-	-
Г	7	100	100	100
Д	11	100	140	954
Е	-	-	-	-

Тук се вижда, че количествените показатели по всички групи покриват както

критериите, заложи в приетите ИЗИСКВАНИЯ, УСЛОВИЯ, ПРАВИЛА И РЕШЕНИЯ на Научния съвет на ИФТТ-БАН в допълнение към Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в БАН, така и минималните изисквания на Правилника за прилагане на ЗРАС РБ.

5. Автореферат

Авторефератът отразява основните положения и научните приноси на дисертационния труд.

6. Други въпроси

В дисертацията се срещат известни слабости, които са от чисто техническо естество и съвсем не омаловажават доброто ѝ научното качество.

7. Заключение

След като се запознах с представените материали: дисертационен труд, Автореферат и останалите документи, и въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научни и научно-приложни приноси, потвърждавам, че научните постижения на доц. д-р Б. Боян Торосов отговарят на изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за прилагането му и съответните правила, приети от Научния съвет на ИФТТ-БАН за придобиване на научна степен „доктор на науките“.

Заключение: въз основа на гореизложеното, препоръчвам на научното жури да присъди научната степен „доктор на науките“ в професионално направление 4.1 „Физически науки“ на доц. д-р Боян Торосов.

Дата 29.05.2026г.

Рецензент:

/ проф. дфн Хассан Шамати /

EVALUATION REPORT

of a thesis submitted for awarding the scientific degree Doctor of Sciences in Physical sciences according to the procedure pursued at the Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences.

Report prepared by Hassan Chamati, Doctor of Physical Sciences, Professor at the Institute of Solid State Physics, Bulgarian Academy of Sciences, in his capacity as a member of the Scientific Committee appointed by order ПД-09-32 / 31.03.2026 of the director of the Institute.

Thesis Title: Quantum Control with Applications to Quantum Technologies

Author: Boyan Tonev Torosov, PhD, Assoc. Professor, Institute of Solid State Physics, BAS.

1. State-of-the-art of the studied problem in scientific and applied terms

The thesis presented by Assoc. Prof. Dr. Torosov is based on research devoted to one of the most timely and simultaneously one of the most intriguing problems of modern science, namely quantum control by means of electromagnetic pulses. This procedure allows to control the variation in the amplitude, phase and polarization of light or microwave fields for the manipulation of quantum states and hence the improvement of certain quantum processes, such as suppression of errors due to noise and control of transitions between energy levels for various practical tasks, including quantum calculations, control of chemical reactions and spectroscopy. Obviously, in addition to the great interest that it represents for fundamental science, this topic is also important for specific applications in quantum technology, which represents the borderline of physics with mathematics and engineering.

The resented material clearly shows that the candidate is very well acquainted with the current state of the problem, both in a more general theoretical plan and from the point of view of the developed models and theoretical methodologies used for their study. In this regard, he shows an enviable ability to use and combine both analytical and various numerical methods. An additional argument in support of the qualities of the dissertation is the significant number of references, skillfully selected from the abundance of scientific works on the topic in recent years.

2. General characteristics of the applicant's achievements

The dissertation is built over 165 pages and contains 7 chapters, 73 figures and 16 tables. Chapter I gives a brief introduction to quantum control and reviews the various models and methods for its implementation. This chapter concludes with a brief description of the content of the remaining six chapters. The candidate's research and original results are presented in chapters two to six. Chapter seven summarizes the candidate's scientific contributions and presents a set of unsolved problems as well as the potential for continued research in this area. The rest of the dissertation is a bibliography of 183 literary sources and a list of fifteen publications that form the basis of this work.

The research of Senior Assoc. Prof. Boyan Torosov is related to the control of quantum systems using electromagnetic waves, in particular laser beams, using various approaches: coherent techniques, adiabatic methods and those based on composite pulses or a combination of these methods to achieve better efficiency of the quantum system. They are mainly fundamental in nature and aim to find possible practical applications of dynamic processes from quantum physics in optics, electronics and quantum information.

The second chapter is devoted to the generalization of the composite pulse technique, originally developed to eliminate systematic errors in the analysis of nuclear magnetic resonance spectra. Composite pulses combine effective control over the dynamics of the system and robustness to changes in its parameters. The method is used to derive in the adiabatic approximation an analytical – closed-form expression – of the transition probability of a generalized model, with two levels, with a Rabi frequency, expressed by a hyperbolic secant with a phase jump at its maximum and a detuning with a constant component and a frequency-modulated term expressed by a hyperbolic tangent. The model contains in itself models known in the literature: Demkov-Kunike and its special cases (Rosen-Zener, Allen-Eberly and Bambini-Berman) at zero jump. The presence of a non-zero jump leads to interesting changes in the behavior of the transition probability, which depends on the jump height. A systematic approach is proposed to generate multiple smooth, as a function of time, composite pulses for quantum control using ultrashort non-rectangular laser pulses. It is shown that at resonance, the shape and phase of the pulse have no effect on the composite structures. This finding remains true for a sequence composed of up to five identical single pulses. The method is effective for optimizing the adiabatic transition by using composite structures that suppress non-adiabatic oscillations in the transition probability and to minimize the error in quantum calculations even with a small number of pulses. Another approach is also developed to construct small-area composite pulses accounting for the interplay between the area of the excitation profile and accuracy. A comprehensive analysis of composite structures from identical ultra-narrow-band and ultra-wideband excitations is performed. It is shown that the constructed composite pulse structures outperform their conventional counterparts and are more reliable than adiabatic techniques. Experimentally robust composite pulse structures are proposed that generate arbitrary predefined rotations of a two-state system on the Bloch sphere. Two classes of composite structures are obtained: single and paired. It is shown that the transition probability of each composite structure is expressed in a closed analytical form. The conclusions in this chapter demonstrate the exceptional potential of composite pulses combined with precision and robustness to errors.

The third chapter develops a precise methodology for coherent control of three-level quantum systems. The mathematical apparatus combines two approaches known in the literature, namely stimulated Raman adiabatic transition and composite pulses, thus minimizing computational errors and allowing the calculation of the composite phases in a closed analytical form. It is shown that these phases are universal and do not depend on the main features of the pulses. A combination of composite pulses and Householder reflection is proposed and it is shown that this technique is precise and is very suitable for quantum control, thanks to its robustness to changes in experimental

parameters. An approach is developed for constructing robust and precise quantum logic gates with Raman qubits based on composite pulses. The Morris-Shore and Majorana transformations are used to reduce a three-level Raman system to a similar two-state one. The NOT, Hadamard, and rotational gates were constructed using the Morris-Shor transform. The advantage of the method is that it produces composite gates that are robust to experimental errors.

Chapter IV is devoted to experimental study of the behavior of a sequence of composite pulses using an open-access IBM quantum processor. A large number of experiments have been conducted on pulses with different shapes. The excitation profiles for a number of broadband, narrowband and rectangular composite pulses with arbitrary probabilities have been obtained. Tests have also been carried out on universal composite pulses and a very good agreement between the theoretical and experimental excitation profiles has been obtained. This result demonstrates the high performance of composite pulses as a powerful tool for quantum control, as well as the reliability of the IBM quantum processor. In order to improve the experimental results, a test has been performed on a composite sequence of 1001 pulses showing a clearly pronounced narrowband excitation profile has been obtained.

Chapter V considers effects related to non-Hermitian quantum control. A generalization of the stimulated Raman adiabatic transition using a non-Hermitian Hamiltonian without the non-adiabatic interaction is proposed in order to increase speed and accuracy of calculations. It is shown that the method can be applied to light transmission in three evanescently coupled optical waveguides. It is found that the method is inapplicable to arbitrary types of pulses, strongly depends on the initial conditions and is limited to the resonance regime. The exact solution of the pseudo-Hermitian Hamiltonian of Landau-Zener-Stückelberg-Majorana with an external coherent field is derived. Possible practical applications in waveguide optics and nonlinear frequency conversion are considered.

Chapter VI proposes a powerful and yet easy-to-implement method for identifying chiral molecules based on three consecutive three pulses for controlling a closed quantum system with three states. Twelve different sequences of resonant pulses with high contrast chiral separation are revealed and the characteristics of the pulses are obtained. The method is applied to specific cases of chiral separation using composite pulses, which serve to optimize the parameters of the studied model. In the second part, two methods are presented for identifying chiral molecules based on consecutive single and paired Raman pulses. The molecules represent a closed system with three states. In the first case, a system consisting sequentially of a single pulse, a Raman pulse, and a single pulse is used. The other system is a mixture of a Raman pulse and a single pulse. The generalization of the two systems with the replacement of the single and Raman pulses with a set of consecutive composite pulses leads to higher signal separation and significant resistance to experimental errors. This shows that they can be used as composite pulses with arbitrary rotation with their own advantages and disadvantages.

The final seventh chapter describes in detail the scientific contributions lying in the basis of the dissertation and the directions for the further development of quantum control research in scientific and practical aspects.

3. Scientific and applied contributions

The analysis above shows that the scientific contributions in the dissertation are mainly of a fundamental nature, but can also be used in practice for the advancement of quantum technologies. They are related to the clarification and substantiation of important theoretical propositions, obtaining and proving new facts in the field of quantum physics. In particular, they are related to boost the development of concepts and theoretical approaches in the field of quantum physics and its application in optics and quantum information; development of original theoretical methods for solving specific physical problems related to the control of quantum systems with the potential for exploitation in important practical applications spanning quantum informatics and quantum computing.

4. Evaluation of dissertation publications, personal contribution

In his dissertation, B. Torosov set himself the task of developing and applying theoretical approaches that contribute to the effective manipulation of the dynamics of complex model systems. This is undoubtedly a very laborious, complex and timely problem with fundamental impact and enormous potential for application. The dissertation is written on the basis of 15 scientific papers published in journals, indexed in internationally recognized databases for scientific information (Web of Science and SCOPUS): Physical Review A – 10, Physical Review Research – 2, Physical Review Letters – 1, Journal of Physics B – 1 and Physical Review Applied – 1. All these journals have a quartile Q1 at the year of publication or the closest year to it according to the SJR metric (<https://www.scimagojr.com/>). This satisfies the main requirement of the Scientific Council of Institute of Solid State Physics.

According to a declaration submitted by the candidate, 11 out of the 15 works included in the dissertation have not been used in the previous procedures for acquiring the scientific degree “doctor” and for occupying the academic position “associate professor”. The scientific works were published in prestigious international specialized publications after being subject to strict review procedures. This proves that the scientific contributions in the dissertation are original. I would like to note that given that before publication the manuscripts were subject to a judicious plagiarism check, I exclude the possibility of such in any form in the materials submitted for review.

I mentioned above that the dissertation is based on 15 scientific papers, which are the result of the candidate’s participation in teams: 6 of them have one co-author and 8 have two co-authors. In all the papers, Dr. Torosov is the first author, which gives me reason to believe that he has a leading role in the development of the scientific contributions. There are serious scientific achievements in the scientific papers of Dr. Torosov. The results contained in them are well recognized by the scientific community and have been presented as invited reports at renowned international scientific conferences and schools or scientific seminars. According to data provided by the candidate, the total number of noticed independent citations in international databases for scientific information (Web of Science and Scopus) is 477. Publications under numbers 2, 3, 7, 11 and 12 have the greatest number of citations in the literature. They have been cited, respectively, 61, 98, 43, 65 and 66 times. Boyan Torosov has scientific collaborations with both

foreign and Bulgarian scientists and has participated in a number of research projects funded by national and international organizations.

The fulfillment of the minimum requirements by Assoc. Prof. Dr. Torosov for the acquisition of the scientific degree “Doctor of Science” in Physical Sciences is summarized in the following table:

Class of indicators	Indicators	National rules	ISSP-BAS	Applicant
A	1	50	50	50
B	2	100	100	100
B	-	-	-	-
Г	7	100	100	100
Д	11	100	140	954
E	-	-	-	-

The above table shows that the quantitative indicators in all groups cover both the criteria set out in the adopted REQUIREMENTS, CONDITIONS, RULES AND DECISIONS of the Scientific Council of ISSP-BAS in addition to the Regulations on the conditions and procedure for acquiring scientific degrees and for occupying academic positions at BAS, as well as the minimum requirements of the National Regulations.

5. Dissertation abstract

The abstract reflects the main points and scientific contributions of the dissertation work.

6. Other aspects

The dissertation has certain weaknesses that are of a purely technical nature and do not at all detract from its good scientific quality.

7. Conclusion

After reviewing the submitted materials: dissertation, abstract and other documents, and based on the analysis of their significance and the scientific and applied scientific contributions contained therein, I confirm that the scientific achievements of Assoc. Prof. Dr. B. Boyan Torosov meet the requirements of the Law on the Scientific and Technical Research of the Republic of Bulgaria and the Regulations for its implementation and the relevant rules adopted by the Scientific Council of the Institute of Technical

and Technical Research of the Republic of Bulgaria for the acquisition of the scientific degree “Doctor of Sciences”.

Conclusion: based on the above, I recommend to the scientific jury to award the scientific degree “Doctor of Science” in Physical Sciences to Assoc. Prof. Dr. Boyan Torosov.

Dated 29 May 2026

Reviewer:

/ Prof. Hassan Chamati, DSc /