

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за заемане на академичната длъжност „професор”

по научна специалност: „Изчислителна математика (числен и теоретичен анализ на нелинейни частни диференциални уравнения)”,

обявен от ИМИ, БАН, в ДВ бр. 35 от 10.05.2016 г.

Представил рецензията: проф. д.м.н. Райчо Димитров Лазаров,
адрес: ж.к. Младост 1, блок 9, вход А, ап. 51, София

Единствен кандидат по конкурса е доц. д-р Наталия Тодорова Кольковска. Тя завършва висшето си образование във ФМИ, СУ, специалност Изчислителна математика през 1973 г. През 1973-1976 г. е н.с. в ИМИ, БАН. От 1976 г. до 1980 г. е докторант в МДУ, Факултет по изчислителна математика и кибернетика. Защитава дисертация на тема «Числено изследване на математическите модели на задачата за кристализация на метал във форми» през 1980 г. От 1980 г. до сега работи в ИМИ, БАН последователно като н.с. (1980-1993) и доцент (1993 до сега).

1. Общо описание на представените материали. За конкурса Наталия Кольковска е представила 27 научни публикации от общо 51. Всички работи са излезли от печат. Никоя от публикациите не е представяна за участие в други конкурси, както и при получаване на ОНС „доктор”. Единадесет от статиите са в чуждестранни списания с имакт фактор (IF), 14 са в реферирани сборници с доклади на международни научни форуми в България, като 6 от тях са в LNCS и 7 в AIP Conference Proceedings, всички те са с SJR индекс. Осем от публикациите за конкурса са самостоятелни, 5 са с един съавтор, 12 са с двама съавтори, 2 са с повече съавтори.

2. Обща характеристика на научната, преподавателската и научно-приложната дейност на кандидата. Научната и научно-приложната дейност на Наталия Кольковска се вписват точно в тематиката на научната специалност **Изчислителна математика (числен и теоретичен анализ на нелинейни частни диференциални уравнения)**, в която е обявен конкурсът. Те са в областта на математическата теория на широк клас от нелинейни частни диференциални уравнения (като Бусинеск, Клайн-Гордон, нелинейна дифузия) и числените методи за тяхното решаване. Научните и приноси се заключават в изследване на съществуване или несъществуване на решения, избухване на решението и характеризация на времето за избухване в зависимост от характера на нелинейностите и свойствата на началните условия. В областта на числения анализ основните приноси на Наталия са по построяване, изследване и реализация на изчислителни методи и алгоритми, които са устойчиви, имат теоретично обосновани апроксимационни свойства и осъществяват в дискретна форма характерните за изходната задача закони за съхранение на маса, енергия и други.

Резултатите от тези дейности са представяни на научни форуми и семинари у нас и в чужбина – изнесени са над 25 доклада след 2010 г. (ОИЯИ, Дубна; ИПМ, Москва; Техническият Университет в Гьотеборг, където Н. Кольковска е била на научни посещения). Участвала е в организационните комитети на 5 международни конференции в България и на две в чужбина. Била е председател на Организационния комитет на NMA'2010. В течение на 8 години е била ръководител на секция „Изчислителна математика“ в ИМИ. Член е на SIAM.

Доц. Кольковска е участвала в изпълнението на 12 научно-изследователски проекта в периода 1980-1997 г. В момента участва в изпълнението на проект ДФН-И 02/9, 2014-2017 г. От 2007 г. до сега е ръководител на проекти в рамките на Спогодбата между ОИЯИ, Дубна и Българската агенция за ядрено регулиране. Участвала е в 4 международни проекта с МГУ, Москва, СО на АН СССР, Новосибирск, Полската и Шведската АН.

Доц. Кольковска има преподавателската дейност: (1) лекции във ФМИ, СУ в периода 1982-2000 г. (упражнения по Числени методи и 3 различни спецкурса); (2) лекции в Центъра по обучение на БАН през 1999 г. и 2004 г., (3) научен ръководител е на двама докторанта, един редовен и един задочен.

3. Анализ на научните и научно-приложните постижения на кандидата.

По-ранните работи на Наталия са свързани с класическите проблеми на теорията на диференчните схеми -- бързи и точни методи за пресмятане на различни типове потенциали с гарантирана априорна точност. През послените 15 години Наталия се занимава основно с анализ (числен и/или аналитичен) на нелинейни диференциални и спектрални задачи. Тези задачи имат редица особености, които правят изследванията много трудни и изискват специални техники, които са общо взето индивидуални за всеки отделен клас. Въпросите за съществуване, единственост или неединственост на решението, неговата гладкост в пространството и времето, предоставят като правило съществени математически трудности и изискват разнообразни техники за тяхното решаване. От друга страна, това са естествени постановки за много модели в инженерните науки, механиката, техниката и финансите. Те са важни проблеми на съвременната наука и аз считам, че това е много добър избор на актуална изследователска тематика.

3.1. По-ранни работи на Наталия Кольковска. С присъщата и' методичност, организираност и настойчивост, Наталия се възползва максимално от аспирантските си години в МГУ. Тя имаше възможността да работи с Юрий Мокин, един от най-изтъкнатите специалисти в теорията на числените методи (тогава) от школата на А.Самарский. Нейната дисертация и резултатите и' в областта на бързи пресмятания на логаритмични и потенциали от тип "двоен слой" (работи [13 -- 18] от списъка на всички публикации) са забележителни за времето си като алгоритми и представляват задъбочени и технически трудни математически изследвания. Двете представени за конкурса работи, [A1,A2], публикувани след защитата на дисертацията си в МГУ, са от този цикъл. В тях се изследва метод за числено пресмятане на логаритмичен потенциал от двоен слой и обемен потенциал, като свежда и двете задачи до решаване на алгебрична задача за стандартен дискретен Лапласиан с походяща дясна страна. Теоретичният анализ на тези схеми се базира на балансирано използване на оценки на грешката за решения в съответните Соболеви пространства и на гладкостта на потенциалите в пространствата на Бесов. Аз бих квалифицирал тези резултати като съществен принос в теорията на числените методи. Дълбокото познаване на свойствата на интегралните представяния и използването на апарата на пространствата на Соболев и Бесов е дало възможност на Наталия да получи неподобряеми оценки на грешката на предложените от нея методи.

Съществена част от научните постижения на Н. Кольковска са свързани с приближението на Бусинеск (Boussinesq) на течения на тънък слой невискозен флуид. За да мога да направя разбор на научните постижения на Наталия ще ми бъде необходимо да мога да формулирам математическите задачи със съответните уравнения и да използвам формули и други означения, които мога да представя само като използвам Latex с кодировка на английски. Затова тази част от моята рецензия ще изложа на английски език.

3.2. Achievements in the theory of non-linear PDEs. The works of Natalia are in the area of theoretical analysis and numerical treatment of class of nonlinear Boussinesq type equations and their mathematical “cousins”, the equations of Klein-Gordon. The original Boussinesq equations were introduced as an approximation for water waves that take into account the vertical structure of the horizontal and vertical flow velocity. These are frequently used in mathematical models and computer simulation of water waves in shallow seas and harbors. Also, some of the types of nonlinearities occur in modeling nonlinear elastic wave in rods and bio-membrane vibrations due to impulses. Natalia’s works are in the following particular type of equations

$$(1) \quad \beta_2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u + \beta_1 \Delta \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \Delta^2 u + \Delta f(u), \quad x \in R^n, \quad 0 < t \leq T, \quad T < \infty$$

with proper initial conditions and decay conditions for $|x| \rightarrow \infty$. In her works, Natalia has taken the following special forms of the the nonlinear function $f(u)$:

- (a) $f(u) = \alpha|u|^p, p \geq 2;$
- (b) $f(u) = \alpha|u|^{p-1}u, p \geq 2;$ and
- (c) $f(u) = a|u|^p u + b|u|^{2p},$ with $p \geq 1.$

The analysis of initial boundary value problems for this equation poses a number of mathematical difficulties which are due to two major factors, a non-standard fourth order term $\beta_1 \Delta \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ and general non-linear term $\Delta f(u)$.

The research of Natalia Kolkovska is related to two important aspects: (A) theoretical analysis of the nonlinear dispersive systems and (B) numerical methods for computing accurate approximations of their solutions. Further, she has participated in various applied research projects, mostly the colleagues from chemistry, that resulted in several publications.

I’ll begin my analysis of her scientific contributions with her works in the area (A), theoretical analysis of nonlinear problems introduced by equation (1). This part of her research has been published in the papers [A5,A6,A7,A8,A9,A10,A11,B6,B11,B12,B13].

Depending on the parameters involved in the model and the nonlinear behavior of the function $f(u)$ these problems have two types of solutions: (1) that exist globally and are bounded for any fixed time t and (2) “blow-up” solutions. A substantial part of theoretical works is devoted to answering the two fundamental questions : (1) for given data what class the solution belongs to and (2) can we derive a computational scheme so that the numerical solution has guaranteed accuracy and inherits the fundamental properties of the exact solution (e.g. conserves the energy and momentum, recovers the blow-up time).

A fundamental role in the analysis of the above class of problems plays the critical energy level d . Natalia’s work is mostly in the case of supercritical case, when the energy is greater than d . This case is not very studied and presents a substantial mathematical difficulties compared with the sub-critical case of energy below critical level d . The curious fact is that knowing the sign of the Nehari functional is not enough for claiming blow-up behavior and additional conditions on the initial data have to be imposed.

Natalia has devoted significant part of her research to addressing some important outstanding scientific issues. Among her significant contributions are: (1) an explicit evaluation of the critical energy level d for (a)-type of nonlinearity, papers [B6] and [A5] for $p > 1$, (2) deriving sufficient and necessary conditions on the coefficients of nonlinearity type (c) for the existence of a unique positive steady-state solution, papers [A6], [B11]; (3) proof of global existence of the solution or blow-up type solutions with nonlinearity of type (b), papers [B12,B13]; (4) proof of existence of blow-up solutions for multiple copies of type (c) nonlinearities with different p , papers [A8].

I would also comment on the paper [A9], where Natalia and her co-authors study the blow-up solutions to both Boussinesq and Klein-Gordon equations. This paper is remarkable by two accounts. First, the authors generalize a very useful and fundamental differential inequality established by Kalantarov-Ladyzhenskaya and later generalized by Straughan and Korpusov. Second they make two very interesting applications to prove existence of a unique local weak solution for $t \in [0, T_m)$ of Klein-Gordon equation and to characterize the maximal time T_m . Similar result is also obtained for the Boussinesq equation with linear forcing term under some conditions on the initial data. Further these results, as well as the results of other authors, were improved in [A10].

I would characterize these works as providing detailed and in many cases final results on existence and non-existence of certain types of solutions (e.g. blow-up, positive, maximal time of existence etc) for the above class of problems. Natalia does not just master and apply a large variety of techniques in her investigations, in her

works she devises new methods (of type potential wells), makes new constructions (e.g. new functional P in [A8] or generalization of the Nehari functional [B13]), and makes necessary modifications of some the most powerful methods in nonlinear analysis. I qualify her research contributions as fundamental for the theory of nonlinear PDEs that put Natalia in the league of international experts in this area.

3.3. Achievement in Numerical methods. Next, I'll make comments and assessment of the works in the area of numerical methods for nonlinear problems' based on equation (1). Boussinesq equations have some natural physical properties like Galilean invariance, Hamiltonian structure, and conservation properties. It is very desirable that a discretization method inherits all these properties and is stable, accurate, and efficient. All these requirements/constraints for a solution method make the task of numerical approximation and algorithm development difficult and demanding. Natalia has made substantial progress in the development, analysis, study, and testing of discretization schemes for solving the corresponding initial and boundary value problems in her papers [A4,B3,B4,B5,B7,B9,B10].

In her works in this area Natalia has focused and made contributions in three important research directions regarding approximation, stability and efficiency: (1) derivation of second order schemes (whenever possible) and their analysis, namely, stability and guaranteed convergence rates under reasonable assumptions on the solution; (2) schemes which retain the main properties of the continuous model, namely, conservation of mass, energy and momentum, properties that essential for the long time correct behavior of the solution; (3) design of efficient algorithms and their testing on various model problems.

I'll make some detailed comment on a selected number of papers. Let me begin with the two solo papers [B3,B4], where 1-D and 2-D variants of the Boussinesq equations (1) with $\beta_1 = \beta_2 = 1$ have been considered. The computational scheme is build on the splitting of the original fourth order equation into a system of two equations of second order, which appears to be quite convenient for the efficient implementation. A key moment in the approximation is the treatment of the nonlinear term. A proper discrete variant of the conservation of energy property is established and the convergence of the solution is proven in two steps. In [B3] the numerical results confirm the theoretical analysis, while in [B4] a convergence rate of $O(h^2 + \tau^2)$ (h is the mesh-step size in space and τ – the mesh-size in time) in a proper energy norm is established. The paper [A4] is devoted to studying various properties of a finite difference scheme for equation (1). An important new result is established in Theorem 3.4, boundedness of the approximate solution. This paper is supplied with a set of very revealing and interesting numerical experiments showing interaction of two solitary waves.

There is one more dimension in the research of Natalia in the area of numerical methods for PDEs. Many of the developed schemes and algorithms were used to verify numerically some of the theoretical results. An example of such "inverse" flow of knowledge are the results obtained in the papers [B6,A5]. On the basis of the numerical experiment the authors concluded that the issue of global existence or blow-up for problems with sub-critical energy (the initial energy less than the critical level d) depend not just on the profile of the solution but also on the initial velocity. This feed-back resulted in definition of two new functionals related to the energy that were subsequent used in the updated analysis. I consider this as a very nice and useful piece of research.

Summarizing, the works of Natalia in the area of numerical methods for nonlinear PDEs bring new ideas for the analysis, new numerical result that shed light in the behavior of the solutions and are often among the very first results in the world in this area. For me there is no doubt that Natalia has done first rate research that qualify her as a professional numerical analyst with international recognition.

3.4. Applications. Natalia has been always interested and active in seeking collaboration and working with scientists form other fields. This was definitely the case when some years ago we were working in the area of numerical simulation of processes of steel ingot casting, a project with the Institute of Metal Sciences and Metallurgy at the Bulgarian Academy of Sciences. Of the same flavor are the works [A3,B2] presented in the application package. In these two papers Natalia has applied her expertise to solve jointly with her scientific partners some interesting for the chemistry problems of crystal growth and electro-chemistry. In my opinion, this kind of collaborative work should be weighted strongly positively in promotion procedures in the IMI, they improve the image of the organization and give an important outreach to the other branches of science.

От изложеното се вижда, че представените работи съдържат значими научни и научно-приложни резултати. Авторската справка отразява правилно приносите на кандидатката.

4. Отражение на резултатите на кандидата в трудовете на други автори. Кандидатката е приложила списък с общо 58 цитирания на 18 работи от общия списък на публикациите си, като поне 30 от цитиранията са на работи, представени за конкурса. Работа [A5] е цитирана 8 пъти, работа [A6] – 5 пъти.

5. Принос на кандидата в общите публикации. Считам, че приносът на Н. Кольковска е равностоен с този на останалите съавтори.

6. Критични бележки и препоръки. Наталия Колковска е изграден математик със значителни постижения в областта на теорията на частните дифференциални уравнения, числените методи за тяхното приближено решаване и приложенията им в техниката, физиката и механиката. Тя може и трябва да заеме по-устойчиво и по-агресивно ролята на лидер, да работи повече с млади хора, да работи и организира научни и научно-приложни проекти и да участва в повече мероприятия. Тя организира превъзходно Конференцията по Числени Методи в Боровец през 2010 година и показва забележителни лични качества, с които спечели уважението на международната математическа колегия.

Лични впечатления. Познавам Наталия Кольковска още като отлична студентка със задълбочени познания и трайни интереси в математиката. След като спечели конкурс за докторантура в МГУ "Ломоносов", по мое настояване и съдействие за неин ръководител беше определен акад. А.А.Самарский. Тя защити успешно кандидатската си дисертация и започна работа в Сектора по математическо моделиране, а впоследствие и в моята Лаборатория по числени методи. Това, което отличава Наталия от останалите членове на колегията по числени методи, е нейната педантичност и стремеж към теоретично обосноваване на разработваните методи при естествени и по възможност минимални но ясно дефинирани предположения. По мое мнение, Наталия е един изключително коректен, отговорен, и талантлив професионален математик със собствени научни интереси и съществени резултати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Оценката ми за цялостната дейност на доц. Наталия Тодорова Кольковска – научна, научно-приложна и преподавателска - е строго положителна. Тя отговаря на съвкупността от критерии и показатели за заемането на академичната длъжност „доцент” съгласно ЗРАСРБ, неговия Правилник и Правилниците за прилагане на ЗРАСРБ на БАН и ИМИ.

Всичко това ми дава основание да предложа доц. Наталия Тодорова Кольковска да бъде избрана за „професор” по научната специалност „Изчислителна математика (числен и теоретичен анализ на нелинейни частни дифференциални уравнения)”.

16.09.2016 г.

Подпис:

София

/ проф. д.м.н. Райчо Димитров Лазаров /