



UNIVERSITATEA BABEŞ-BOLYAI
Facultatea de Matematică și Informatică



HABILITATION THESIS

Transport Phenomena in Viscous Fluids and Porous Media

Assoc. Prof. Teodor Silviu GROȘAN

Department of Mathematics

Faculty of Mathematics and Computer Science

2015

Rezumat

Dupa susținerea tezei de doctorat la Universitatea Babeș-Bolyai Cluj-Napoca, Romania (octombrie 2002), în aprilie 2003 am obținut o bursă postdoctorală de doi ani la Institutul de Matematică Industrială (ITWM) Kaiserslautern unde am activat în cadrul departamentului Procese de Transfer (șef de departament Dr. Raimund Wegener) sub îndrumarea Dr. Norbert Siedow. Contactul cu matematica industrială (o ramură a matematicii încă puțin cunoscută în România), simularea unor problem reale și utilizarea de software CFD au influențat puternic viziunea mea asupra matematicii aplicate. Două vizite scurte în 2007 și 2013 la Universitatea din Leeds și colaborarea strânsă cu Prof. Dr. Derek B. Ingham mi-au îmbunătățit substanțial capacitatea de rezolvare numerică a ecuațiilor cu derivate parțiale. Un impuls important au dat cercetării cele două granturi CEEX ET 90 (2006-2008) și PN-II-RU-TE-3-0013 (2011-2014) al căror director am fost.

Teza cuprinde o parte a contribuțiilor mele în domeniul fenomenelor de transfer în fluide vâscoase (Partea I) și medii poroase (Partea II). De asemenea, au fost discutate direcții noi de cercetare și activitate didactică la în ultima parte a tezei.

Partea întâi prezintă convecția mixtă a nanofluidelor folosind aproximația stratului limită și curgerea internă într-un canal vertical. Fluidele obișnuite utilizate în procesele industriale ce implică transfer de căldură (generare de energie, izolare, racirea componentelor electronice) sunt apa, uleiurile minerale, antigelul, etc. Valorile scăzute ale proprietăților fizice ale acestor fluide (conductivitatea termică, densitatea, coeficientul de expansiune volumetrică, etc.) limitează eficiența transferului de căldură și de aceea este necesar să se obțină noi tipuri de fluide cu proprietăți termice îmbunătățite. Pentru a îmbunătăți proprietățile termice ale fluidelor se pot forma mixturi prin adaugarea de particule solide ultrafine (metalice, nemetalice sau polimerice având un diametru mediu de ordinal nanometrilor) fluidului. Noul fluid format dintr-un așanumit fluid de bază și particule de ordinal nanometrilor a fost numit nanofluid. În primul capitol a Părții I a fost rezolvată convecția mixtă de la un corp de revoluție subțire cu bord ascuțit, de la un cilindru vertical. S-a dovedit existența soluțiilor duale și a fost studiată stabilitatea. În continuare, în cel de-al doilea capitol se studiază analitic și se validează numeric curgerea convectivă mixtă a unui nanofluid într-un canal vertical. Partea a doua prezintă în Capitolul 3 curgerea și transferul

de căldură a unui nanofluid pe o placă orizontală plasată într-un mediu poros non-Darcy utilizând aproximațiile stratului limită. Ecuațiile guvernante au fost reduse la ecuații diferențiale similare și au fost rezolvate numeric. S-a făcut de asemenea, o regresie liniară multiplă pentru a obține o corelație între valorile numărului lui Nusselt și parametrii guvernanți, obținându-se un coeficient de determinare foarte bun. În continuare, în Capitolul 4, este analizată și rezolvată analitic curgerea unui fluid peste o sferă poroasă plasată într-un alt mediu poros. De fapt, s-a obținut o soluție semianalitică a ecuațiilor ce guvernează curgerea atât în interiorul cât și în exteriorul sferei, constantele de integrare obținându-se prin rezolvarea numerică unui sistem de algebric de ecuații neliniare. Au fost discutate câteva cazuri pentru diferite valori ale parametrilor mediilor poroase obținându-se o concordanță foarte bună între fenomenele fizice și simulare. În cele din urmă, în Capitolul 5, s-au studiat efectele câmpului magnetic și al adăugării de nanoparticule asupra curgerii și transferului de căldură într-o cavitate pătrată umplută cu mediu poros. Mai întâi, s-a dovedit că mișcarea convective depinde atât de intensitatea câmpului magnetic cât și de înclinarea câmpului magnetic. În comparație cu câmpul magnetic vertical, câmpul magnetic orizontal a diminuat cel mai mult intensitatea convecției. În partea a doua a acestui capitol a fost propus un nou model matematic pentru curgerea și transferul de căldură într-un mediu poros saturat cu nanofluid. S-a observat că adăugarea de nanoparticule fluidului ce saturează mediul poros reduce temperatura și crește transferul de căldură când conductivitatea termică a nanoparticulelor este mult mai mare decât cea a structurii solide a mediului poros. Pe de altă parte, dacă conductivitățile au valori apropiate, adăugarea de nanoparticule are efecte neglijabile.

Direcțiile noi de cercetare și dezvoltare profesională formează ultima parte a acestei teze. Pe termen scurt intenționez să aplic și să extind modelele matematice propuse pentru diferite probleme ce implică nanofluid vâscoase și medii poroase saturate de nanofluid, iar pe termen mediu voi studia nanofluidurile cu proprietăți fizice variabile (depinzând de temperatură, concentrație, etc.) și efectul câmpului magnetic asupra nanoparticulelor (dirijarea nanoparticulelor folosind magnetoforeza și generarea de căldură). Pe termen lung intenționez să folosesc programe calcul paralel de tip CFD și supercalculatoare pentru a rezolva probleme reale complexe și probleme legate de penetrarea țesuturilor de către nanoparticule folosind dinamica moleculară. În ceea ce privește activitatea didactică mi-ar plăcea să dezvolt un curs de Computational Fluid Dynamics.

Abstract

After the defense of the PhD Thesis at the Babes-Bolyai University Cluj-Napoca, Romania (October 2002), in April 2003 I obtained a postdoctoral scholarship at the Institute of Technology and Wirtschaftsmathematik (ITWM) Kaiserslautern for two years and I have worked in the Transport Processes Department (Head of Department Dr. Raimund Wegener) under Dr. Norbert Siedow's supervision. The contact with the industrial mathematics (a still unknown branch of mathematics in Romania), real problems simulation and using of commercial CFD software strongly influenced my vision regarding applied mathematics. Two short visits in 2007 and 2013 to the Leeds University, UK and the close collaboration with Prof. Dr. Derek B. Ingham substantially improved my skills of numerical solution of the partial differential equations. A great impulse to the research was given by the two grants CEEEX ET 90 (2006-2008) and PN-II-RU-TE-3-0013 (2011-2014) led by me as principal investigator.

The thesis contains a part of my contribution in the field of transfer phenomena in viscous fluids (Part I) and porous media (Part II). Future researches and developments were also discussed in the last part of the habilitation thesis.

Part I presents the mixed convection of nanofluids using boundary layer approximation and the internal flow in a vertical channel. General fluids used in industrial processes involving heat transfer (energy generation, insulation, cooling of microelectronic components) are water, mineral oil, ethylene glycol, etc. Low values of the physical properties of these fluids (thermal conductivity, density, expansion coefficient, etc.) limit the efficiency of heat transport and it is necessary to obtain new type of fluids, having improved heat transfer characteristics. In order to enhance the thermal characteristics of the fluids, one can form mixtures by adding ultra-fine solid particles (metallic, non-metallic or polymeric having the mean diameter of the order of nanometers) to the fluid. This new fluid formed by a so called based fluid and particles of nanometer dimensions was named nanofluid. In the first chapter of the Part I the mixed convection from a needle, a vertical cylinder and a truncated cone using the boundary layer approximation is analyzed. Dual solutions are found and stability is studied. Further, in the second chapter, the mixed convection of a nanofluid in a vertical channel is studied analytically and is numerically validated. Part II presents in Chapter 3 the nanofluid flow and heat transfer in a non-Darcy porous medium using the boundary layer approximation. The governing equations

were reduced to similar ordinary differential equations and were solved numerically. A multiple linear regression was performed in order to obtain a correlation between the values of the Nusselt number and the governing parameters and a very good coefficient of determination was obtained. Further, in Chapter 4, the flow of a fluid over a porous sphere embedded in another porous medium is analyzed and solved analytically. In fact, a semi-analytical solution of the governing equations for the flow inside and outside the sphere has been obtained, the integration constants being obtained by solving a nonlinear algebraic system of equations numerically. Several cases for different values of the porous media were discussed and a very good agreement between the physical and the simulated behavior was obtained. Finally, in Chapter 5 the effect of the magnetic field and nanoparticles addition on the flow and heat transfer in square cavities is studied. First, the convection modes within the cavity were found to depend upon both the strength and the inclination of the magnetic field. The applied magnetic field in the horizontal direction was found to be most effective in suppressing the convection flow for a stronger magnetic field in comparison with the vertical direction. In the second part of this chapter, a new mathematical model for heat transfer and fluid flow of a nanofluid through porous media was proposed. It was found that the addition of nanoparticles in fluid saturated porous media reduces the temperature and enhances the heat transfer when the value of the thermal conductivity of the nanoparticles is much higher than the thermal conductivity of the solid structure of the porous medium. On the other hand, the addition of nanoparticles into the fluid saturated porous media has almost no effect when the values of the thermal conductivity of the nanoparticles and the thermal conductivity of the solid structure of the porous medium have close values.

Future researches and developments is the last part of this thesis. On a short term I intend to apply and extend the proposed mathematical models for different problems involving viscous nanofluids and nanofluid saturated porous media, while on medium term I will study the nanofluids having variable physical properties (depending by temperature, concentration, etc.) and the effect of the magnetic field on nanoparticles (driving particles problems using magnetophoresis and heat generation). On long term I intend to use parallel commercial CFD software and supercomputers to solve complex real problems and problems concerning tissue penetration by nanoparticles using dynamical molecular models. Regarding the teaching activity, I would like to develop and give a Computational Fluid Dynamics course.