General Relativity Theory with the Computer
An Interactive Lecture

Matthias Hanauske

Frankfurt Institute for Advanced Studies
Johann Wolfgang Goethe-University
Institute for Theoretical Physics
Department of Relativistic Astrophysics
Frankfurt am Main, Germany

General Relativity Theory with the Computer

fias.uni-frankfurt.de/~hanauske/VARTC/   Q Suchen

Allgemeine Relativiätstheorie mit dem Computer *von* Dr.phil.nat.Dr.rer.pol. Matthias Hanauske   Home   Research   Contact
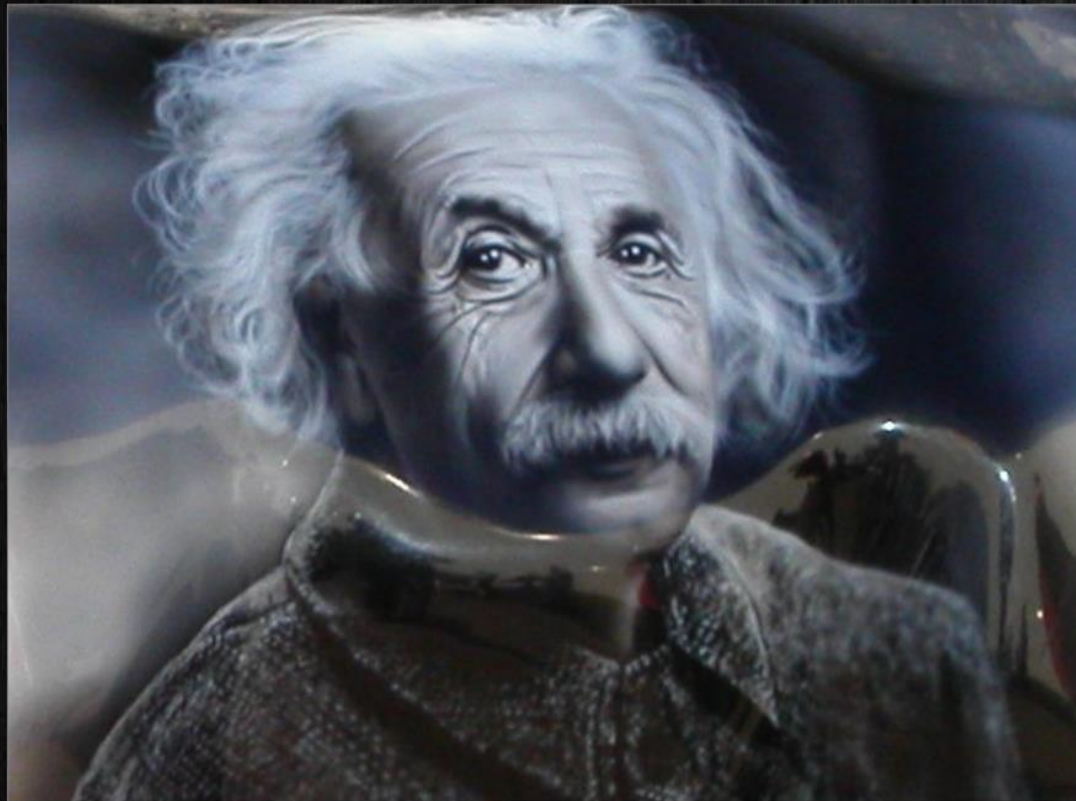
Einführung   **Teil I**   **Teil II**   **Teil III**   *E-Learning*

Allgemeine Relativitätstheorie mit dem Computer
(General Theory of Relativity on the Computer)
Vorlesung SS 2016, Mo. 16-18.00 Uhr, PC-Pool 01.120

Zusätzlich zur Vorlesung werden ab dem 18.04.2016 freiwillige Übungstermine eingerichtet, die jeweils montags, eine Stunde vor der Vorlesung im PC-Pool 01.120 stattfinden (Mo. 15-16.00 Uhr).

Am 09.05.2016 findet der Merkur-Transit statt. Im Rahmen der Vorlesung kann der Transit zwischen ca. 13.00 Uhr und 18.30 Uhr vor dem Haupteingang des Instituts für Theoretische Physik beobachtet werden.

In dieser Vorlesung werden die mathematisch anspruchsvollen Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) in diversen Programmierumgebungen analysiert. Im ersten Teil des Kurses erlernen die Studierenden die Verwendung von Computeralgebra-Systemen (Maple und Mathematica). Die oft komplizierten und zeitaufwendigen Berechnungen der tensoriellen Gleichungen der ART können mit Hilfe dieser Programme erleichtert werden. Diverse Anwendungen der Einstein- und Geodätengleichung werden in Maple implementiert, quasi analytische Berechnungen durchgeführt und entsprechende Lösungen berechnet und visualisiert. Der zweite Teil des Kurses befasst sich mit der numerischen Berechnung von Neutronensternen und Weißen Zwergen mittels eines C/C++ Programms. Nach einer kurzen Auffrischung der grundlegenden Programmierkenntnisse, erstellen die Studierenden, gemeinsam mit dem Betreuer, ein Programm, das die Tolman-Oppenheimer-Volkov-Gleichung numerisch löst und visualisieren die Ergebnisse. Zusätzlich wird hierbei in die Grundkonzepte der parallelen Programmierung eingeführt und eine MPI- und OpenMP-Version des C/C++ Programms erstellt. Im dritten Teil des Kurses werden zeitabhängige numerische Simulationen der ART mittels des Einstein Toolkit durchgeführt und deren Ergebnisse mittels Python/Matplotlib visualisiert. Inhaltlich wird hierbei ebenfalls auf den, dem Programm zugrunde liegenden (3+1)-Split der ART

www.fias.uni-frankfurt/~hanauske/VARTC/

General Remarks

- ~25 Bachelor and Master Students
- Required previous knowledge:
  - ❖ Basic knowledge in general relativity (GR)
  - ❖ Basic knowledge in at least one programming language (e.g. c++, java, fortran, python, maple, mathematica, …)
- Summersemester 2016 and 2017 at the University Frankfurt
- 3 creditpoints, individual oral examinations
- 2 hours per week in the Computer room at the Univ. Frankfurt
- Individualized exercises (E-Learning System *Lon Capa*)

Current Online Lecture (Peking-School)
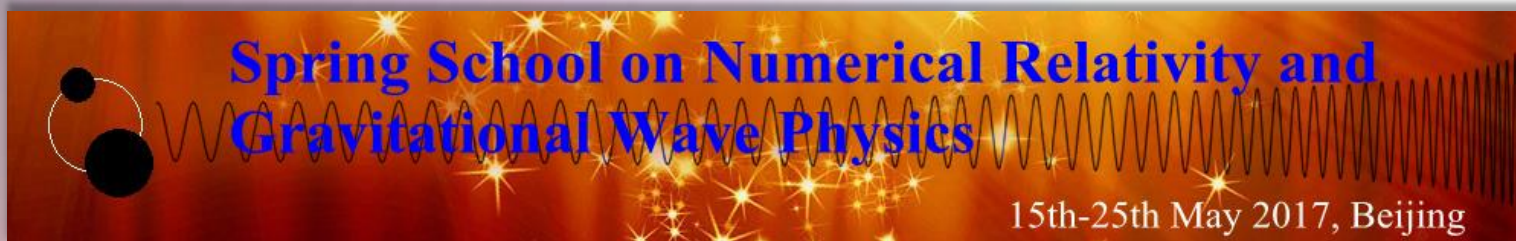
www.fias.uni-frankfurt/~hanauske/VARTC/

Contents of the Lecture

- Teil I:
  - Analytical solutions and numerical Simulations using Maple/Mathematica
  - Scientific problems: calculating the Riemann- and Riccitensor, the Einstein equation and the geodesic equation for a given metric (e.g. Schwarzschild, Kerr), the non-rotating and rotating black hole, White Dwarf, Neutron and Quark stars and the Tollmann-Openheimer-Volkov (TOV) equation
- Teil II
  - Parallel programming using C++ and OpenMP/MPI
  - Scientific problems: creating a parallel version of a C++ program that solves the interior and exterior solution of the metric and the internal propertie of a neutron star using different equation of states, theory of hybrid stars and twin stars

Contents of the Lecture

- Teil III:
    - Computersimulation using the Einstein Toolkit
    - Scientific problems: The (3+1)-split of general relativity, the ADM (and BSSNOK) equations, collapse of a neutron star to a black hole or a quark star, gravitational wave emission from a hybrid star binary system, how to observe the hadron-quark phase transition with future gravitational wave detectors, visualisation of simulation results using python and Mathplotlib
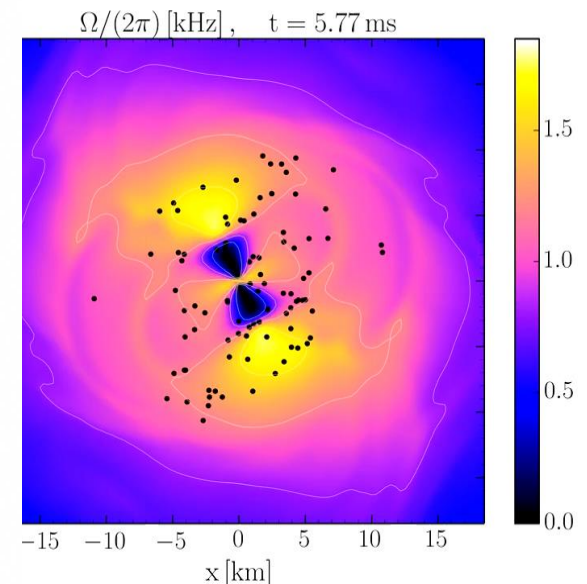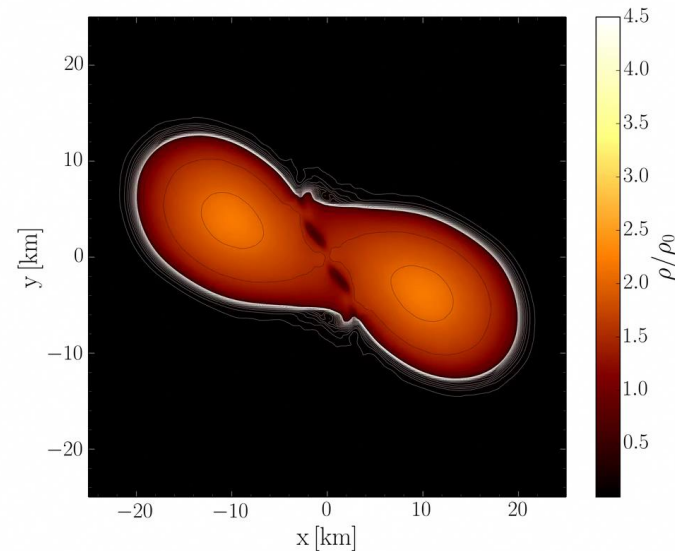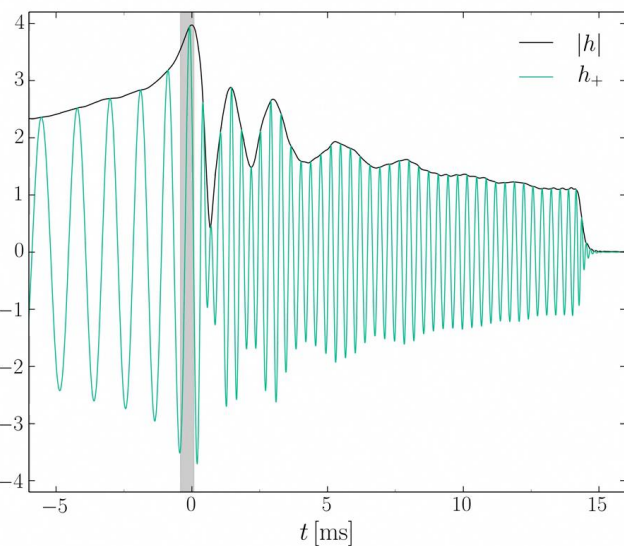
E-Learning

- E-learning platform: LON-CAPA (Learning Online Network with Computer-Assisted Personalized Approach)
- Personalized exercises for the students to follow their individual understanding
- Online Tutor to help students

Summary and Outlook

- The lecture is for bachelor, master students and young researchers
- Basic knowledge in GR is required
- Everything is freely available: www.fias.uni-frankfurt/~hanauske/VARTC/
- Please contact me if you need a LON-CAPA account for the Online Course and the Peking-School (in english)

Einstein inside Ausstellung
in Frankfurt am Main