

# Abstract of dissertation

**Name of the candidate:** Markus Leuthner

**Supervisor:** Andreas Ipp

**External referees:** Tuomas Lappi, Edmond Iancu

**Title:** Aspects of the dilute Glasma

**Abstract:** The Glasma is a semiclassical nonequilibrium state describing the earliest stage in relativistic heavy-ion collisions predicted by the Color Glass Condensate effective theory. It is characterized by strong color fields, which are sourced by color currents pertaining to hard partons in the colliding nuclei. We introduce the (3+1)D dilute Glasma framework, which incorporates the longitudinal and transverse structure of colliding particles and describes the rapidity-dependence of observables like the energy-momentum tensor. This is in stark contrast to the canonical picture of boost-invariance, where nuclei are infinitesimally thin in longitudinal direction, and the rapidity-dependence of observables is lost. We discuss the derivation of the (3+1)D dilute Glasma field-strength tensor, which relies on linearizing the Yang-Mills equations in the dilute approximation, i.e., assuming weak sources. The dilute Glasma energy-momentum tensor can efficiently be evaluated numerically on a lattice. Employing a generalized 3D McLerran-Venugopalan model, we discuss numerical results for the collisions of heavy ions at energies corresponding to experiments at RHIC and the LHC. We discover longitudinal flow that differs significantly from Bjorken flow and argue that this is a consequence of taking into account the longitudinal extension of nuclei. Furthermore, we find limiting fragmentation as a universal feature of the dilute Glasma analytically and numerically. Finally, we study the applicability of the dilute Glasma to proton-proton collisions and show the necessary modifications to reproduce experimental multiplicity distributions.

**Kurzfassung:** Das Glasma ist ein halbklassischer Zustand weit entfernt vom thermischen Gleichgewicht, der das früheste Stadium in Kollisionen relativistischer Atomkerne beschreibt. Die Existenz und Beschreibung des Glasma folgt aus dem „Color Glass Condensate“, einer effektiven Theorie für Quantenchromodynamik bei hohen Energien. Das Glasma ist charakterisiert durch starke Farbfelder, wobei die Farbladungen der harten Partonen in den Atomkernen als Quellen fungieren. Im (3+1)D dünnen Glasma sind diese Quellen in longitudinaler Richtung ausgedehnt und weisen potenziell komplexe Substruktur sowohl in longitudinaler als auch in transversaler Richtung auf. Dies führt im Glasma zu einer Rapiditätsabhängigkeit von Observablen wie etwa des Energie-Impuls-Tensors, ganz im Gegensatz zu früheren boostinvarianten Beschreibungen, wo Kerne nur infinitesimale longitudinale Ausdehnung aufweisen und die Rapiditätsabhängigkeit verloren geht. Die Linearisierung der Yang-Mills-Gleichungen unter der Annahme schwacher Quellen erlaubt eine analytische Beschreibung des Feldstärketensors für das (3+1)D dünne Glasma. Aus dem Feldstärketensor kann der Energie-Impuls-Tensor berechnet und für ein gegebenes Kernmodell numerisch ausgewertet werden. Wir analysieren numerische Resultate basierend auf einer Verallgemeinerung des Kernmodells von McLerran und Venugopalan in drei Raumdimensionen bei verschiedenen Schwerpunktsenergien, die in etwa den experimentell realisierten Energien bei RHIC und LHC entsprechen. Der Materiefluss in longitudinale Richtung unterscheidet sich dabei signifikant vom bekannten „Bjorken flow“, den man im ultrarelativistischen Limes erwarten würde. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Wechselwirkung bei longitudinal ausgedehnten Kernen nicht bei einer einzigen Zeit und an einer einzigen longitudinalen Position stattfindet. Wir untersuchen außerdem „limiting fragmentation“, ein weiteres bekanntes Phänomen, dessen Auftreten im dünnen Glasma sowohl analytisch als auch numerisch belegbar ist. Zum Abschluss untersuchen wir die notwendigen Modifikationen, um Proton-Proton-Kollisionen im dünnen Glasma zu beschreiben, insbesondere wie die experimentell gemessene Verteilung von Teilchenzahlen reproduziert werden kann.