

HYBRIDE VERFAHREN ZUR SIMULATION DER WECHSELWIRKUNG RELATIVISTISCHER KURZPULS-LASER MIT HOCHDICHTEN PLASMEN

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wird ein effizientes numerisches Verfahren zur Simulation der Wechselwirkung relativistischer Kurzpuls-Laser mit hochdichten Plasmen vorgestellt.

Die populärste Methode die Wechselwirkung von Lasern mit Plasmen zu simulieren, sind explizite particle-in-cell (PIC) Codes, weil sie die physikalischen Prozesse in Plasmen am detailliertesten beschreiben. Sie sind allerdings nicht für Plasmen mit sehr hohen Dichten geeignet, da einerseits sehr kleine Zeitschrittweiten und andererseits sehr viele Teilchen zur Darstellung des Plasmas gewählt werden müssen. Dies führt zu sehr hohem Rechenaufwand. Um solche Probleme zu simulieren, kann man das Plasma als Flüssigkeit auffassen und hydrodynamisch beschreiben, wodurch jedoch physikalische Eigenschaften verloren gehen, oder beide Modelle kombinieren. In dieser Arbeit wird ein neues hybrides Modell vorgestellt, welches eine hydrodynamische Beschreibung des hochdichten Plasmas mit der kinetischen Beschreibung des Plasmas mit niedriger Dichte kombiniert. Hauptziel dieser Arbeit ist die Entwicklung neuer numerischer Verfahren zur Simulation der Wechselwirkung relativistischer Kurzpuls-Laser mit hochdichten Plasmen, welche durch dieses Modell beschrieben werden.

Zunächst wird das zugrundeliegende physikalische Problem und Modell erklärt. Als Ausgangspunkt dient der bestehende PIC-Code VLPL (Virtual Laser Plasma Laboratory). Es wird in einem ersten Ansatz das Problem in einer Dimension betrachtet und ein neuer effizienter impliziter Code H-VLPL (Hybrid Virtual Laser Plasma Laboratory) entwickelt, welcher unabhängig von der Dichte stabil ist. Die numerische Dispersionsrelation des Verfahrens wird hergeleitet und abschließend wird es an physikalischen Anwendungen getestet. Allerdings muss ein lineares Gleichungssystem gelöst werden, wodurch der implizite Code an Effizienz verliert, wenn man ihn auf 3D erweitert.

Im zweiten Teil der Arbeit wird ein neuer Ansatz basierend auf exponentiellen Integratoren verwendet, der auch in 3D effizient ist. Dieser Ansatz wird zunächst in einer Dimension vorgestellt, um die Problemstellungen aufzuzeigen. Es wird die Stabilität von Orts- und Zeitdiskretisierung gezeigt und die numerische Dispersionsrelation hergeleitet. Numerische Experimente zeigen, dass der neue Zeitintegrator unabhängig von der Dichte die Ordnung zwei hat. Anschließend wird das Problem in zwei und drei Dimensionen betrachtet und ein, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Theoretische Physik, in C++ implementierter neuer paralleler 3D Code H-VLPL vorgestellt, welcher die Möglichkeit bietet Plasmen mit beliebig hoher Dichte zu simulieren. Vergleiche mit VLPL zeigen, dass die wesentlichen physikalischen Eigenschaften von Laser-Plasma-Wechselwirkungen korrekt beschrieben werden, jedoch in deutlich kürzerer Rechenzeit. Abschließend wird auch der 3D Code H-VLPL an physikalisch relevanten Anwendungen in denen hohe Dichten auftreten getestet.