

Pressemitteilung

Ludwig-Maximilians-Universität München

Luise Dirscherl

18.11.2014

<http://idw-online.de/de/news613920>

Forschungsergebnisse
Physik / Astronomie
überregional



Statistische Physik - Neue Lösungsmethode für Boltzmann-Gleichung

LMU-Physiker haben einen Algorithmus entwickelt, mit dem sich die Boltzmann-Gleichung auf aktiv angetriebene Teilchensysteme anwenden lässt. Dadurch haben sie bislang unbekannte Muster kollektiver Teilchenbewegung entdeckt.

Mithilfe der Boltzmann-Gleichung berechnen Physiker die statistische Verteilung von Teilchen in Gasen. Bei der Anwendung dieser Gleichung auf sogenannte aktive Gase stießen Forscher bislang aber auf schwerwiegende technische Probleme. LMU-Physiker um Erwin Frey, Inhaber des Lehrstuhls für Statistische und Biologische Physik, haben nun eine numerische Routine zur Lösung der Boltzmann-Gleichung für aktive Systeme entwickelt. Darüber berichten sie aktuell in der Fachzeitschrift *Physical Review X*.

Aktive Systeme spielen eine prominente Rolle in einer Vielzahl unterschiedlichster biologischer Systeme, angefangen bei subzellulären Biopolymer-Netzwerken bis hin zu ausgedehnten Schwärmen zehntausender Zugvögel. Anders als in herkömmlichen Gasen, verfügen die einzelnen Teilchen in aktiven Gasen über einen eigenen Antrieb und stehen nicht selten in gegenseitiger Wechselwirkung. Diese hoch komplexen Eigenschaften bilden die Grundlage zur Ausbildung faszinierender kollektiver Phänomene. Übertragen auf das Schwarmverhalten im Tierreich gestatten es derartige Phänomene zum Beispiel den Tieren in gigantischen Gnu-Herden, sich in ein und dieselbe Himmelsrichtung fortzubewegen, selbst ohne die Hilfe tierischer Lotsen oder spezieller Orientierungspunkte in der Savanne. „Die Boltzmann-Gleichung scheint ein interessantes Werkzeug zu sein, um diese ungewöhnliche kollektive Dynamik zu beschreiben. Doch die recht komplexe mathematische Struktur macht es schwierig, sie auf aktive Systeme anzuwenden. Wir schlagen nun eine konzeptionell neue Herangehensweise dafür vor“, sagt Florian Thüroff, Doktorand in der Arbeitsgruppe von Erwin Frey.

Unbekannte Muster entdeckt

Die LMU-Physiker haben einen Algorithmus entwickelt, der es erlaubt, die großskaligen, kollektiven Phänomene in diesen Systemen auf Grundlage der speziellen Eigenschaften der einzelnen Teilchen zu untersuchen. „Wir haben mit unserer Methode ein archetypisches System aktiv getriebener Teilchen untersucht. Dabei haben wir eine neue Analogie zwischen den Phasenübergängen in aktiven und thermischen Systemen entdeckt“, sagt Thüroff. „Der Übergang hin zur kollektiven Bewegung erfolgt über eine sogenannte Phasenseparation. Dabei teilt sich das aktive System in abgegrenzte Gebiete mit hoher Teilchendichte und kollektiv ausgerichteter Teilchenbewegung und gasförmige Gebiete niedriger Teilchendichte auf. Strukturell findet man dabei auffallende Ähnlichkeiten mit dem Übergang zwischen der flüssigen und gasförmigen Phase in Wasser, wo sich flüssige Wassertröpfchen inmitten einer gasförmigen Wolke aus Wasserdampf ausbilden.“

Zudem haben die LMU-Forscher bislang unbekannte Muster kollektiver Bewegung in aktiven polaren Systemen entdeckt. Bislang war nur ein Wellenmuster bekannt, in dem sich die im Kollektiv bewegenden Teilchen in Form ausgedehnter Bänder organisieren. Mit ihrem neuen Algorithmus haben die LMU-Forscher nun ein Muster gefunden, bei dem sich die Teilchen in großen Clustern organisieren, die sich wie auf Straßen mit mehreren Fahrbahnen anordnen und dort in

entgegengesetzte Richtungen bewegen. „Dies ist höchst bemerkenswert, weil es, im Gegensatz zu allen bisher bekannten geordneten Phasen solcher Systeme, nicht direkt die Symmetrie der zugrundeliegenden Teilchenwechselwirkungen reflektiert“, merkt Thüroff an.

Der neue Algorithmus ist für eine Vielzahl von Fragestellungen interessant. So lassen sich dadurch zum Beispiel aktive Systeme nicht mehr nur als offene Systeme beschreiben, was zukünftig den Vergleich mit experimentellen Versuchen erheblich erleichtern könnte. „Darüber hinaus bietet diese Lösungsroutine spannende Möglichkeiten, dringende konzeptionelle Fragen zu beleuchten, die bisher aufgrund technischer Hürden einer detaillierten Analyse kaum zugänglich waren“, sagt Erwin Frey. „Heute steht die wissenschaftliche Gemeinschaft erst am Anfang ihrer Bemühungen, sich ein vollständiges Bild von den verschiedenen Arten kollektiver Ordnung und deren Zusammenhang mit den speziellen Symmetrien der zugrundeliegenden Teilchenwechselwirkungen zu machen. Dabei ist gut denkbar, dass die Boltzmann-Gleichung für das Verständnis aktiver biologischer Systeme eine ähnlich wichtige Rolle spielen könnte, wie einst für die Entwicklung der Statistischen Physik.“

Kontakt:

Professor Erwin Frey

Lehrstuhl für Statistische und Biologische Physik der LMU

E-Mail: frey@lmu.de

http://www.theorie.physik.uni-muenchen.de/17ls.th_statisticphys_en/members/group_leaders/erwin.frey/index.html

Dipl.-Phys. Florian Thüroff

Lehrstuhl für Statistische und Biologische Physik der LMU

Tel: 089 2180-4109

E-Mail: florian.thueroff@physik.lmu.de

Publikation

Florian Thüroff, Christoph Weber, Erwin Frey:

„Numerical Treatment of the Boltzmann Equation for Self-Propelled Particle Systems“

In: Physical Review X (APS)

<http://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.4.041030>