Kinetic simulations comparing quasi-parallel and quasi-perpendicular piston-driven collisionless shock dynamics in magnetized laboratory plasmas

การจำลองเชิงจลศาสตร์ของพลศาสตร์คลื่นกระแทกแบบไร้การชนในพลาสมาในห้องทดลองเพื่อเปรียบเทียบการผลักด้วยลูกสูบที่เกือบขนานกับเกือบตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

(P. Pongkitiwanichakul*, D. B. Schaeffer, W. Fox, **D. Ruffolo,** J. Donaghy, and K. Germaschewski

Kinetic simulations comparing quasi-parallel and quasi-perpendicular piston-driven collisionless shock dynamics in magnetized laboratory plasmas, *Phys. Plasmas* ***31,*** 01290

https://doi.org/10.1063/5.0178884)

Magnetized collisionless shocks are common in astrophysical systems, and scaled versions can be created in laboratory experiments by utilizing laser-driven piston plasmas to create these shocks in a magnetized background plasma. A key parameter for these experiments is the angle θ_B between the shock propagation direction and the background magnetic field. We performed quasi-1D piston-driven shock simulations to explore shock formation, evolution, and key observables relevant to laboratory experiments for a range of shock angles between $\theta_B = 90°$ to $\theta_B = 30°$. Our results show that the spatial and temporal scales of shock formation for all angles considered are similar when expressed in terms of the perpendicular component of the magnetic field. In a steady state, ion and electron temperatures become more isotropic, and the electron-to-ion temperature ratio is higher for smaller θ_B. At $\theta_B = 30°$, ion heating parallel to the magnetic field becomes dominant, associated with more ions being reflected at one discontinuity and subsequently trapped by the next discontinuity due to shock reformation.

คลื่นกระแทกในพลาสมาไร้การชนที่มีสนามแม่เหล็กเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์เป็นปรากฏการณ์ปกติทางดาราศาสตร์และสามารถถูกจำลองแบบลดขนาดในห้องปฏิบัติการณ์โดยใช้แสงเลเซอร์ได้ มุมระหว่างทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นกับสนามแม่เหล็กพื้นหลัง θ_B เป็นกุญแจสำคัญหนึ่งเพื่อเข้าใจคลื่นกระแทก เราได้จำลองคลื่นกระแทกที่สามารถเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการณ์โดยเป็นการจำลองแบบหนึ่งมิติเพื่อสำรวจการเกิดคลื่นกระแทก การวิวัฒน์ของคลื่นกระแทก และปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยได้เลือกศึกษามุมของคลื่นกระแทกตั้งแต่ $\theta_B = 30°$ ถึง $\theta_B = 90°$ ผลการจำลองของเราพบว่าระยะและเวลาของการเกิดคลื่นกระแทกสามารถถูกทำให้มีค่าใกล้เคียงกันแม้มุม θ_B เปลี่ยนเมื่อใช้หน่วยที่ขึ้นกับองค์ประกอบของสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น การศึกษาเพิ่มเติมจากการจำลองในช่วงสภาวะคงตัวยังให้ว่า อุณหภูมิของอิเล็กตรอนมีสมบัติไอโซทรอปีมากเทียบกับของไอออนและสัดส่วนอุณหภูมิของอิเล็กตรอนต่อไอออนมากขึ้นเมื่อมุมของคลื่นกระแทกเล็กลง ที่มุม $\theta_B = 30°$ พลังงานภายในของไอออนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนพลังงานตามแนวเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งเกี่ยวข้องกับไอออนถูกสะท้อนและถูกกักระหว่างคลื่นกระแทก

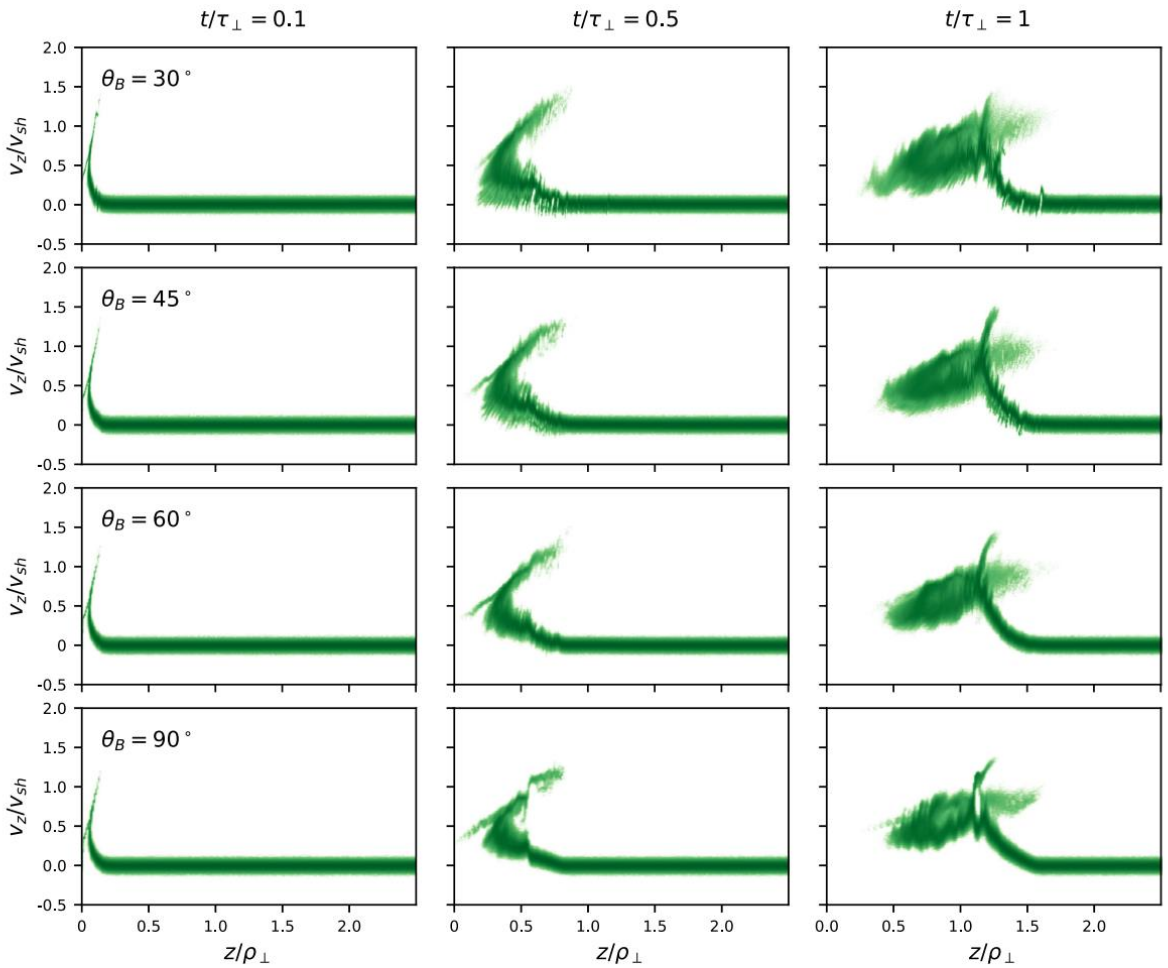

FIG. 3. Phase space plots of the z component of the velocity v_z of the ambient ions along z for four shock angles θ_B at different times. The velocity is normalized by the shock speed v_{sh}, z is normalized by the perpendicular gyroradius $\rho_\perp$, and time is normalized by the perpendicular gyroperiod $\tau_\perp$. Darker green indicates stronger concentrations of the ions. At the same normalized time, the phase space distributions from all simulations are similar.