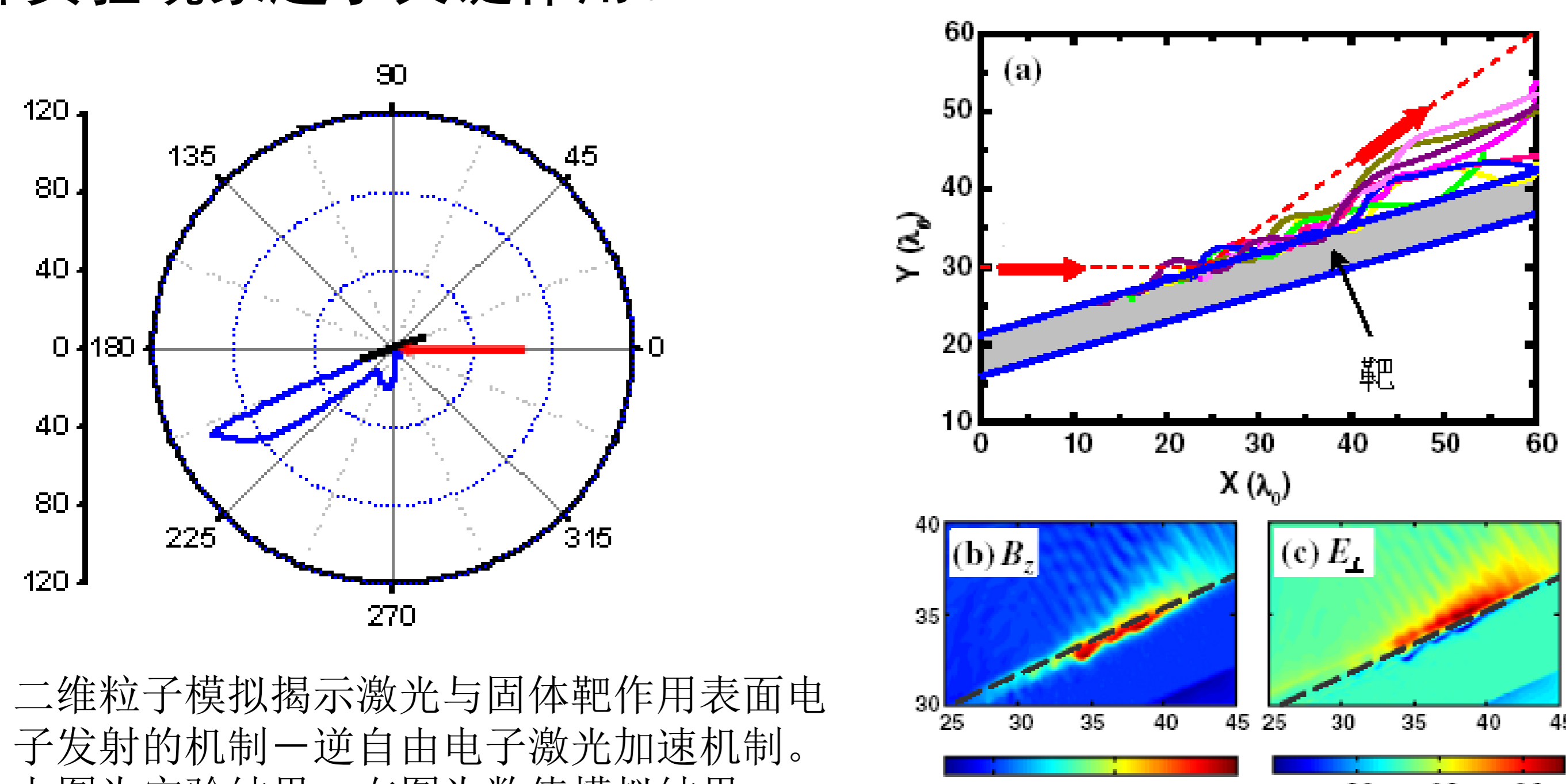


强激光和等离子体作用 理论与模拟 Theory and Simulation on Relativistic Laser-Plasmas

粒子模拟 (PIC) 程序KLAP的发展和应

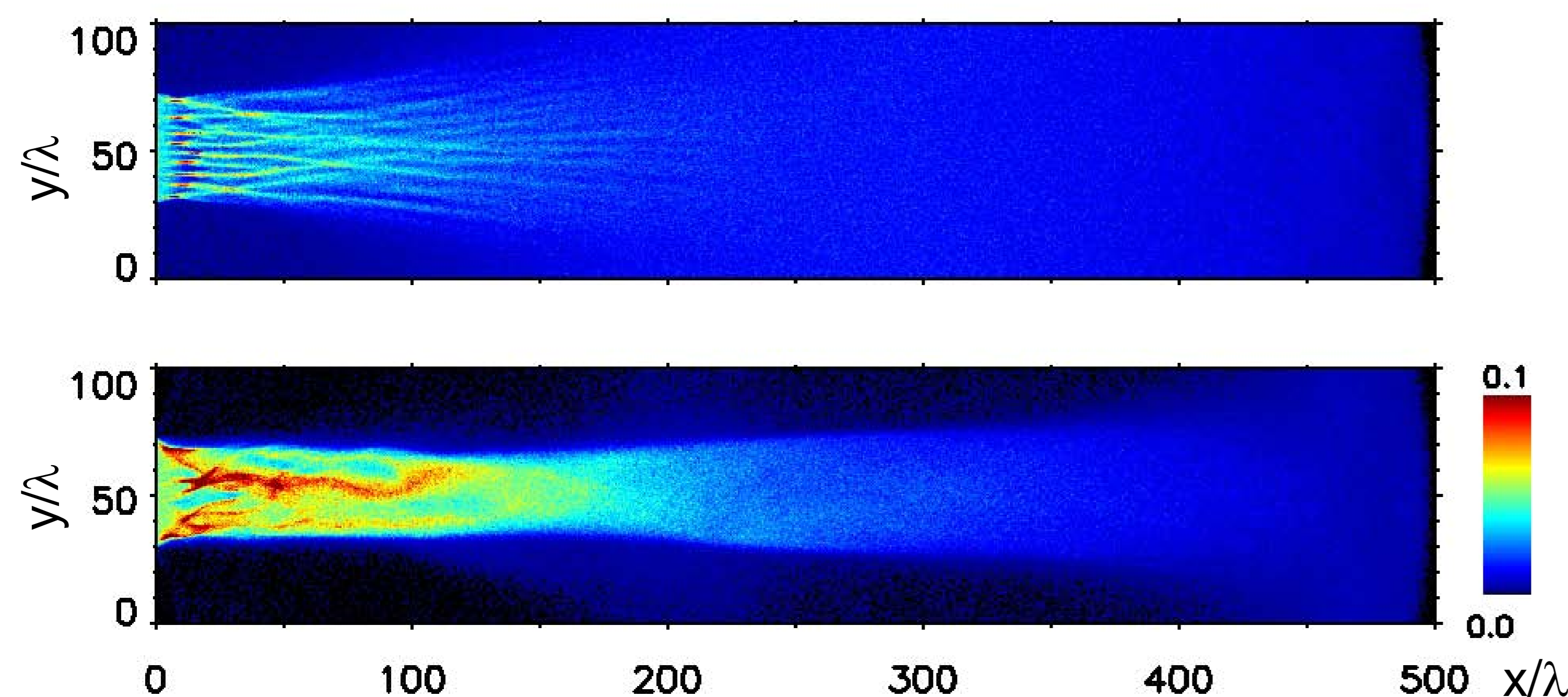
在过去10年,我们在中科院物理所独立发展了相对论多维粒子模拟程序KLAP。在一维和二维粒子模拟程序中,我们还加入了考虑光离化,碰撞离化及两体碰撞效应的子程序,并将其应用于短脉冲激光与中性物质相互作用的研究中。在三维程序中,为了研究加速能量达GeV的长距离激光尾波场加速问题,我们发展了具有移动窗口特性的程序,使得模拟尺度可以达到厘米量级。这些模拟程序对发展激光等离子体相互作用理论、揭示新物理现象、解释实验现象起了关键作用。



二维粒子模拟揭示激光与固体靶作用表面电子发射的机制—逆自由电子激光加速机制。上图为实验结果,右图为数值模拟结果。

碰撞效应对相对论性成丝和双流不稳定性的影响

在快点火中,当高能电子向靶丸中心传输时,会导致成丝、双流和斜向不稳定性,这三种不稳定性对电子运输的影响是快点火中最关键的问题之一。在靶心区域,背景粒子之间的碰撞频率可以远大于不稳定性的增长率,因此必须考虑碰撞效应对这些不稳定性的影响。我们在全动理学框架下研究了碰撞效应对成丝不稳定性、双流不稳定性、斜向模式不稳定的影响。研究发现,碰撞效应对斜向不稳定性的静电部分起抑制作用,而对其电磁部分起着促进作用。在快点火中的参数下,当背景等离子体达到固体密度附近,静电性的斜向不稳定性将被完全抑制。在致密靶心区,成丝不稳定性将成为最不稳定的模,其产生的准静态磁场对电子的运输起着重要的导引作用。



电子束在高密度等离子体中传输模拟。上图是不考虑无碰撞效应,下图是考虑碰撞效应。

部分相关论文:

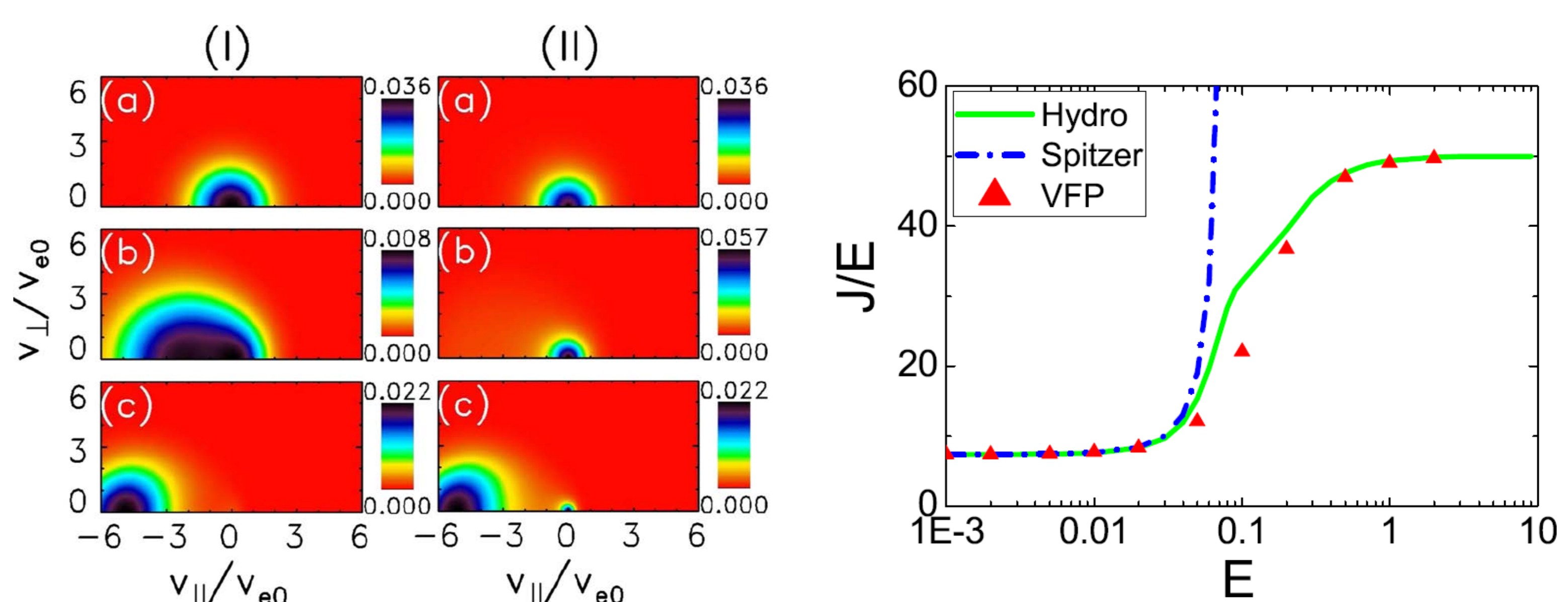
- B. Hao et al., Phys. Rev. E 79, 046409 (2009).
- B. Hao et al., Phys. Rev. E 80, 066402 (2009).
- W. J. Ding et al., Phys. Plasmas 16, 042315(2009).
- S.M. Weng et al., Phys. Rev. E 80,056406 (2009).
- S.M. Weng et al., Phys. Rev. Lett. 100, 185001 (2008).
- S. Kahaly et al., Phys. Rev. Lett. 101, 145001(2008).
- W.M. Wang et al., Phys. Plasmas 15, 030702 (2008).
- S. M. Weng et al., Phys. Plasmas 13, 113302 (2006).
- 陈民等, 计算物理 25, 43 (2008).
- 翁苏明等, 计算物理24, 134 (2007).

Fokker-Planck模拟程序的发展及其应

Fokker-Planck (FP) 模拟作为一种动理学模拟方法,与PIC模拟一样得到广泛应用,特别是用于惯性约束聚变中的热流运输、快点火聚变中的高能粒子运输、等离子体中波加热等。我们发展了一维坐标二维速度空间的FP模拟程序,它考虑完整的电子-电子碰撞和电子-离子碰撞,可以用于分布函数高度偏离平衡态的情况。下面是两个采用该程序得到的典型结果。

强直流电场下的等离子体电导率:当外加直流电场强度足够小时,等离子体中的电子分布函数接近于平衡态下的麦克斯韦分布,此时产生的电流与电场强度成正比,由Spitzer理论来描述。在惯性约束核聚变的快点火方案中在高能电子运输过程中就会产生很强的直流电场,此时传统的Spitzer理论不再适用。我们利用自行开发的FP模拟程序对等离子体在各种强度的直流电场下的电子分布函数进行了详细的分析,并推导出了一组类似于流体力学方程的公式。它可以正确地描述在强直流电场下的等离子体电流和电场之间的关系,并且像Spitzer的计算公式一样简单易用。

强激光场下的逆韧致吸收率:利用速度空间二维的FP模拟程序对激光场中的逆韧致吸收过程,在此基础上推导了新的逆韧致吸收算子。它适用于任意强度的激光场中的逆韧致吸收并且与Langdon形式的吸收算子一样可方便地集成到各种大型的等离子体模拟程序中,从而具有很高的实用价值。



亚波长光栅靶对超短强激光脉冲的近全吸收现象

提高强激光和等离子体相互作用的能量耦合效率对高能量密度物理研究是个核心问题,对高能粒子产生、新型辐射产生都具有重要意义。近年来,人们发现在固体靶表面刻划或添加亚波长的微结构(如光栅、团簇等)是一条提高耦合效率的有效途径。

我们与国外合作者系统研究了的光强、度入射角、p或s线偏振入射的飞秒激光脉冲与亚波长光栅靶相互作用时的吸收和超热电子产生过程。实验和数值模拟都表明:p偏振激光以一定角度入射到亚波长光栅靶时会出现一个接近100%的吸收率;二维粒子模拟发现激光场能在亚波长表面结构上诱导出很强的静电场,该电场与入射激光耦合可以导致强烈的吸收。

