

レーザープラズマの流体シミュレーションへの運動論効果モデルの導入

Kinetic model for hydrodynamic simulations of laser plasma

長友英夫¹, 畠中健¹, 朝比奈隆志¹, 畑昌育¹, 城崎知至², 千徳靖彦¹
 NAGATOMO Hideo¹, HATANAKA Takeru², ASAHINA Takashi¹, HATA Masayasu¹,
 JOHZAKI Tomoyuki², SENTOKU Yasuhiko¹

¹阪大レーザー研, ²広大工
¹Osaka Univ, ²Hiroshima Univ

はじめに

高強度領域($> 1 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$)のレーザーを物質に照射する場合の輻射流体シミュレーションにおいて、古典的なSpitzer-Harmの電子熱伝導係数に対し、温度勾配が急な領域での非物理的な熱流束を抑制する流速制限法 (flux-limited Spitzer-Harm法) が広く用いられている。しかし、この流速制限SH法には経験的なパラメータを導入しないとイケないなど様々な制約、限界がある。一方、厳密に高速電子の影響を考慮するにはフォッカー・プランク方程式を直接解いて電子熱流束を求める必要がある[1]。しかしながら、フォッカー・プランク方程式を広域で解くのは計算機資源の制約から非常に困難であり、非局所電子熱伝導モデルを考慮した流体コードで解くのが現実的である。そのモデルの開発導入が急務となっている。

ここまでの研究では、従来の輻射流体シミュレーションコードに非局所電子熱伝導モデルの導入を試行してきた。特に、 f_1/f_0 が小さいという仮定の下で導出された非局所電子熱伝導モデル：SNB(Schurtz, Nicolai, Busquet)モデル[2]を用いてきた。しかし、このオリジナルのSNBモデルは衝突項の近似がBGK(Bhatnagar, Graoss and Krook)モデルを用いていることから、エネルギーや運動量の保存性が悪くなっている。今回は、これを改善するためにDel Sorboらが提案した、衝突項にAWBS因子を用いたモデル[3]を導入した。手法の概要と、その妥当性について検討を行ったので報告する。

拡散近似した非局所電子熱伝導モデル

衝突項がBGK因子、およびAWBS因子の場合の拡散方程式をそれぞれ式(1)、および式(2)の通りである。ここで λ_{ee} 、および λ_{ei}^E は、電子-電子衝突に

よる平均自由行程、および電場を考慮した平均飛程距離である。

$$\left(\frac{1}{\lambda_{ee}} - \nabla \frac{\lambda_{ei}^E}{3} \nabla \right) \Delta f_0 = -\nabla \cdot \mathbf{g}_1^m \quad (1)$$

$$\left(\frac{v}{\lambda_{ee}} \frac{\partial}{\partial v} - \nabla \frac{\lambda_{ei}^E}{3} \nabla \right) \Delta f_0 = -\nabla \cdot \mathbf{g}_1^m \quad (2)$$

計算結果

流体運動を止めて密度勾配を与えた状態で $2 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ のレーザーを照射し、加熱の様子を計算した。図1に中心軸上の電子温度分布を示す。BGK-SNBモデルを用いた場合は熱伝導の先端で顕著に高速電子による加熱が見られる。それに対して、AWBS-SNBモデルを用いた場合は、先行加熱はあるもののそれほど大きな影響はない。定性的にはフォッカー・プランク方程式を解いた場合の解に近い傾向[3]が示された。

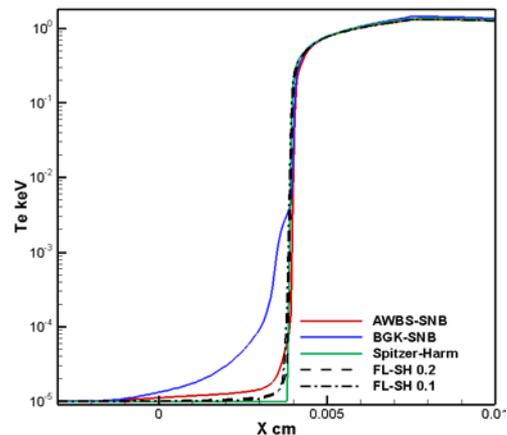


図. 中心軸上の電子温度分布 (照射開始から30ps後)

本研究はJSPS科研費 JP17K05728の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] E.M. Epperlein, CPC 52 (1988)
- [2] G.P. Schurtz *et al.*, Phys. Plasmas 7, 4238 (2000)
- [3] D. Del Sorbo *et al.*, Phys. Plasmas 22, 082706 (2015)