

## MDシミュレーションによるレーザー冷却プラズマ中の拡散の評価

## Evaluation of diffusion in laser-cooled plasma using MD simulation

竹川 拓希, 角田 匠, 工藤 海也, 後藤 泰輔, 荒巻 光利

Hiroki TAKEGAWA, Takumi TSUNODA, Hiroya KUDO, Taisuke GOTO and Mitsutoshi ARAMAKI<sup>1</sup>日大生産工  
Nihon Univ.

## 1. はじめに

弱結合プラズマ中ではデバイ遮蔽により電場が遮蔽されるが、強結合プラズマ中ではデバイ遮蔽の近似は成り立たなくなり、遮蔽メカニズムとしてイオン球モデルが用いられる。このようなクーロン相互作用の遮蔽メカニズムの違いにより、弱結合プラズマ中と強結合プラズマ中ではイオン-イオン衝突等の素過程が大きく異なると考えられている。これまでに行った微弱レーザーによるドップラー誘起蛍光計測により、弱結合と強結合の中間的な結合領域で自然広がりの数倍に及ぶ一様広がりを観測しており、イオン-イオン衝突周波数の増大を示唆する結果を得ている。しかし、LIF計測では、微弱なプローブレザーを用いてもプラズマの状態に与える影響を無視することが出来ず、定量的な評価が難しい状態であった。我々は、イオントラップ内でレーザー冷却によって生成した強結合プラズマ中のイオンの拡散を直接観測することで、遮蔽とクーロン結合係数 $\Gamma$ の関係を実験的に明らかにしようとしている。今回はこの実験を補完すべく、温度制御された二種イオンプラズマの粒子拡散を調べるためのMDシミュレーションコードを開発した。

## 2. イオンの初期条件の設定

熱平衡状態ではイオンの速度分布 $S$ は正規分布になるので、平衡化の時間を短縮するために予め正規分布を持つ初速度を与えた。正規分布を持つ乱数を得るためにBox-Muller法を用いた。 $v_0$ と $v_1$ が0から1の間の乱数の時以下の式を用いると速度分布は正規分布になる。

$$S = \sqrt{-2 \log v_0 \cos(2\pi v_1)}$$

また初期温度は以下の関係から求めた。

$$\frac{3}{2}K_B T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m v_i^2$$

## 3. イオンの運動方程式の計算

イオントラップ内のイオンには三つの力が働いており、ポテンシャルによるトラップ力 $F_{trap}$ とイオン間のクーロン力 $F_{coulomb}$ とレーザー冷却による運動量変化 $F_{laser}$ の三つの力が働いている。今回は簡単化のため $F_{laser}$ を粘性によって模擬している。

$$F = F_{trap} + F_{coulomb} + F_{laser}$$

## 4. 実行結果

本研究ではCa、Srイオンをイオントラップ内に同

時に閉じ込め、冷却するMDシミュレーションコードを開発した。粒子数は50個で各イオンが同じ割合になるように定義した。イオントラップの各パラメータは、電極間の距離 $r_0=4.4\text{mm}$ 、周波数 $f=3.2\text{MHz}$ 、高周波電圧 $V_{rf}=230\text{V}$ 、エンドキャップ電圧 $V_{end}=60\text{V}$ と設定した。

Fig.1(a)は冷却前のイオントラップ内の粒子の位置を示している。電極間の距離 $r_0$ 以内に収まっており、イオンが閉じ込められていることが確認できる。

Fig.1(b)は室温程度から冷却された後を示している。このように十分に冷却されるとイオン間ではほぼ一定の距離を保っており、クーロン結晶が形成されていることが確認できる。

## 5. 今後の展望

現在、イオントラップ内の熱平衡状態のイオンを冷却し、イオンの軌道のモニタリングに成功している。今後は、冷却後のイオンの速度分布から系の温度を導き、そこからクーロン結合定数 $\Gamma$ を求める。そこから粒子拡散とクーロン結合係数 $\Gamma$ の関係を明らかにする。

## 参考文献

占部伸二(2000)「イオンのレーザー冷却とその応用」, (共立出版株式会社).

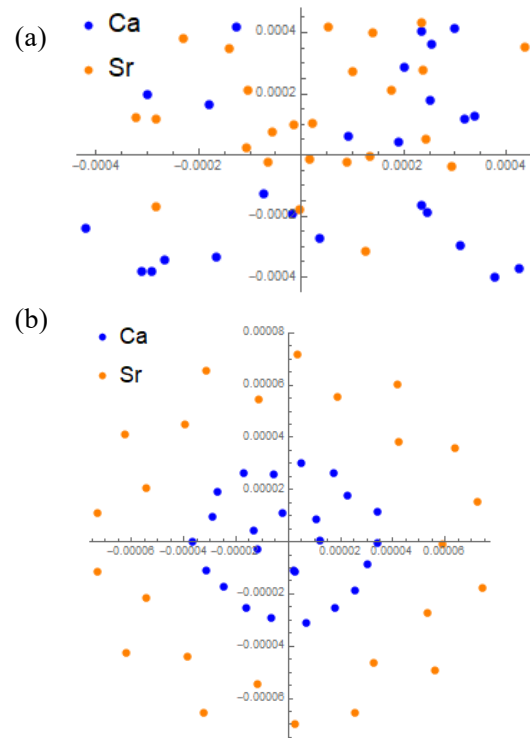


Fig.1(a)冷却前(b)冷却後のイオントラップ内の粒子