レーザ冷却イオン列による超放射発振に関する検討

Lasing by superradiance of laser-cooled ions

○ 早坂 和弘 (情通機構)
○Kazuhiro Hayasaka (NICT)
E-mail: hayasaka@nict.go.jp

原子集団の禁制遷移による超放射で狭線幅コヒーレント光を発生する超放射レーザが提案され[1]、10^6 個程度のルビジウム原子のラマン遷移を用いた実験によりその理論が検証されている [2]。周波数安定化されたレーザを原子の禁制線に周波数ロックする従来の光時計とは異なり、超放射レーザでは禁制線自身がその線幅より狭いコヒーレント光を生成する。そのため、基準光共振器への外乱により短期安定度が制限される従来型光時計の限界を克服する新しい光時計として期待される。しかしながら、中性原子を用いた場合、光電場との相互作用がトラップ時間に限定され、到達しうる線幅が制限される。レーザ冷却されたイオンを用いると、光電場と原子系の相互作用時間に制限がなくなるものの、クーロン反発により光電場内に配置できる原子数への制限が課せられる。本発表ではレーザ冷却イオン列による超放射発振の可能性と実現条件を明らかにする。

図 1 に示すように N 個の Ca^+ をリニアトラップ中でレーザ冷却し、軸方向に配置した光共振器に禁制遷移 $^2S_{1/2}$–$^2D_{5/2}$(波長 729nm) を結合させる。ミラー間隔 20mm、フィネス 35,000 の共振器に全てのイオンが結合すると仮定すると、cooperativity parameter C は 0.5 となり、超放射発振の条件 $C \ll 1$、$NC \gg 1$ を満たす。393 nm、850 nm の二波長レーザ励起による自然放出でイオンを $^2D_{5/2}$ に励起するときに出力される最大光子数 n_{opt} と二次の相関関数 $g^{(2)}(0)$ の値を半古典的近似により計算した結果を図 2 に示す [3]。N=1,000 程度で $n_{opt}=10^4[s^{-1}]$、$g^{(2)}(0)=1.0$ が予測され、超放射発振の観測が期待される。このときの発振線幅は 76mHz と計算される。

リニアトラップ中でイオンをレーザ冷却する場合、(a) イオンが等間隔で配置しない、(b) イオン個数が多い場合には一直線に配置しない、という制限があり、N=1,000 のイオン全てを光共振器の antinode に配置して光電場に結合することは困難である。このため、(1) イオンが等間隔で配置するイオントラップの設計、(2) 質量の大きいイオンとの共同冷却による等間隔配置、(3) 共振器の antinode に配置するイオンのみを実効的イオン数 N_{eff} とする扱い、等が実現のための課題となる。

本研究は JSPS 科研費 15K05239、15H03705 の助成を受けたものです。

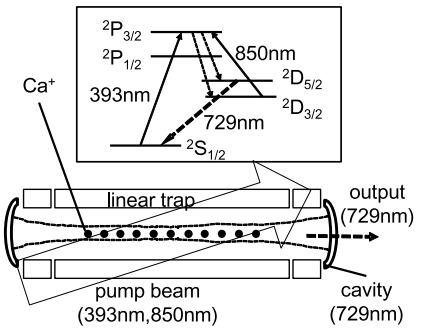

図1.イオン列による超放射発振の実験配置図

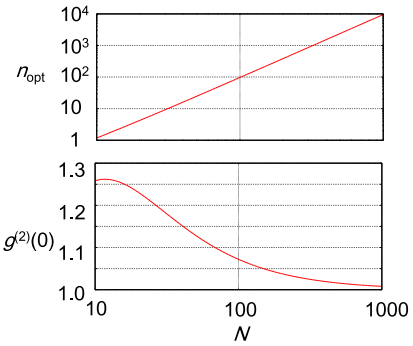

図2.半古典的近似による計算結果

[1] D. Meiser, *et.,al.* Phys. Rev. Lett. **102**, 163601(2009).
[2] J. G. Bohnet, *et.,al.* Nature **486**, 78(2012).
[3] D. Meiser, *et.,al.* Phys. Rev. A. **81**, 063827(2010).

© 2015年 応用物理学会