

レーザー分光法によるプラズマ中励起水素原子の 2s および 2p 準位における実効緩和レートに関する実験的考察

Experimental study of effective relaxation rate of 2s and 2p levels of excited hydrogen atom using laser spectroscopy

西山 修輔¹, 後藤 基志², 佐々木 浩一¹

Shusuke Nishiyama¹, Motoshi Goto², and Koichi Sasaki¹

北大院工¹, 核融合研²

Hokkaido Univ.¹, NIFS²

はじめに 我々は、核融合科学研究所の LHD 装置において、水素原子のバルマーアルファ線のスペクトル形状をドップラー幅を超えた分解能で計測することで最外殻磁気面およびエルゴディック層近傍における水素イオンの生成位置を推定し、LHD 装置における粒子輸送現象の解明に資することを目的に、代表的なドップラーフリー分光法のひとつである飽和吸収分光法の開発を行っている。この方法では通常はドップラー広がりでマスクされてしまうバルマーアルファ線の微細構造を個別に検討することが可能であり、スペクトルの強度には遷移確率と上下の準位の緩和レートが反映される。衝突のある系ではバルマーアルファ線の下位準位である 2s と 2p の準位間でのポピュレーションの移動が生じて準安定準位の 2s も比較的大きな緩和レートとなることが知られている。今回は、弱磁場下の実験室プラズマにおいて観測した水素原子バルマーアルファ線微細構造の飽和吸収スペクトルから求めた 2s と 2p の緩和レートの比較を行った。

実験方法 実験には直線型ヘリコン波プラズマ生成装置を用いて、低密度モードの放電で生成したプラズマを対象に飽和吸収分光測定を行った。ソレノイドコイルによる 60Gauss の外部磁場により生成した 60cm のプラズマ柱の軸方向に、ポンプ光 (110mW) 及びプローブ光 (220μW) を対向する方向で完全に重なるように入射して飽和吸収分光を行った。ポンプ光とプローブ光は、波長可変の半導体レーザーの出力の一部をビームスプリッターで分岐してプローブ光とし、残りを半導体レーザー増幅器で増幅してポンプ光とした。外部磁場と光軸は並行なためゼーマン分裂した σ 成分が観測されるが、磁場強度が 60Gauss と弱いために分裂幅は 200MHz 以下であり、衝突広がりおよび自然広がりからなる均一幅と同程度である。

結果と考察 Fig.1 に、水素ガス圧力 50mTorr、高周波電力 750W で生成したプラズマで、ポンプ光がある場合と無い場合それぞれのプローブ光の吸収係数とその差 ($\Delta\alpha$) を示した。ポンプ光を入射しない場合は通常のレーザー吸収分光計測であり、2つのピークを持つ不完全に分離した吸収スペクトルが得られた。これに微細構造のそれぞれの B 係数をフォークト分布でフィッティングすると、2s が下位準位となる遷移の寄与を 5%程度増加させた場合に実験結果とよく一致した。これは、2s のポピュレーションが 2p よりも多少増加していることを示唆するが、2s が準安定準位であることを考慮すると僅かな差しかないといえる。

ポンプ光を同時に入射した場合のプローブ光の吸収スペクトルには微細構造に対応する飽和による鋭いディップが観測された。吸収スペクトルには近接する遷移のドップラー広がり重なっていることも考慮して遷移ごとに吸収係数の減少割合 $\Delta\alpha/\alpha_0$ を求めると、飽和パラメータ S が $\Delta\alpha/\alpha_0 = 1 - (1 + S)^{-1/2}$ の関係にあり、遷移の B 係数と実効緩和レート $R^* = 1/(1/R_2 + 1/R_3)$ に対して $S \propto B/R^*$ となることから遷移ごとの実効緩和レートの相対値が求められる。Fig.1 の飽和吸収スペクトルからは、 $2P_{3/2} - 3D_{5/2}$ の遷移に対して $2S_{1/2} - 3P_{3/2}$ の実効緩和レートは 1/11 程度となった。 $2P_{3/2} - 3D_{5/2}$ の実効緩和レートは光学遷移のみ考慮するならば $6.4 \times 10^7 \text{s}^{-1}$ であり、 $2S_{1/2} - 3P_{3/2}$ の実効緩和レートは $6 \times 10^6 \text{s}^{-1}$ となる。この値は $3P_{3/2}$ の緩和レートの約 1/30 なのでほぼ $2S_{1/2}$ の緩和レートとみなせて、 $2P_{1/2}$ の緩和レートの 1/100 程度である。講演では、放電条件の影響や求めた値の妥当性について議論したい。

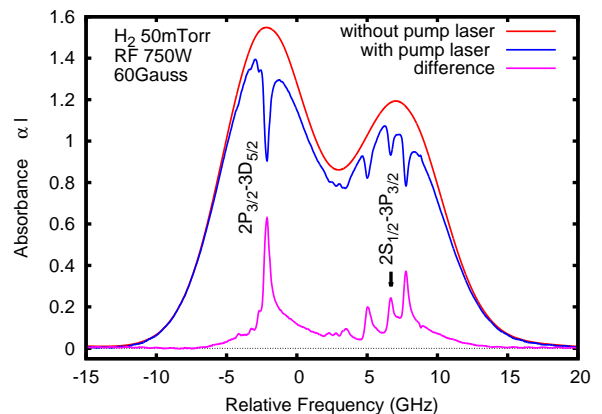


Fig.1: Absorption spectrum of H_α with and without pump beam