

氏 名 高 山 定 次

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第349号

学位授与の日付 平成10年9月30日

学位授与の要件 数物科学研究科 核融合科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 MSE Spectroscopy in CHS Heliotron/Torsatron

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 松岡 啓介
助 教 授 居田 克己
助 教 授 佐藤 國憲
教 授 加藤 隆子（核融合科学研究所）
教 授 近藤 克己（京都大学）

論文内容の要旨

The spectroscopic measurement using the motional Stark effect (MSE) has been recognized to be a useful tool to measure the direction of the magnetic field inside the plasma. The MSE arises from the Lorentz Electric Field, $E = \nu \times B$, in the atom's rest frame, which is induced when the neutral beam, having the velocity ν , crosses the magnetic field B . The spectrum with the motional Stark splitting in the $H\alpha$ emission consists of 15 components. The spectra which are circularly polarized perpendicular to the Lorentz field are called as σ (0σ , $+1\sigma$ and -1σ lines) components, while the spectra which are linearly polarized parallel to the Lorentz field, namely perpendicular to the magnetic field are called as π ($\pm 2\pi$, $\pm 3\pi$ and $\pm 4\pi$ lines) components. Four kinds of spectra with the polarization angle of 0, 45, 90 and 135 degrees are measured to derive the polarization angle of the circularly polarized σ component, and eliminate the overlap between π components and σ components which are perpendicular each other. The diagnostic neutral beam (DNB) is injected almost perpendicularly to the magnetic field line into the Compact Helical System (CHS) heliotron/torsatron device in order to maximize the Lorentz field, namely the Stark shift. The line broadening due to a beam divergence angle results in overlapping between the adjacent lines. Therefore, the smaller beam divergence angle is desirable in DNB for the MSE measurement. The beam divergence angle of DNB is 0.65 degrees, and it gives enough separation between the measured σ and π components in MSE spectroscopy. Although the one-third energy (E/3) component has the smaller motional Stark splitting than the full energy component, the intensity of E/3 component is larger than that of full energy component. Therefore, the one-third energy component is used to derive the pitch angle in CHS.

The new polarization sensitive spectroscopy, which consists of a polarizer and a ferroelectric liquid crystal (FLC) cell, has been developed to measure the polarization angle with good accuracy. The FLC cell functions as a switchable half-wave retarder, in which polarization angle of the light is rotated by 90 degrees. By using the FLC, the polarization angle can be measured with the error bar of less than ± 1 degrees.

Because the FLC has fast response, the spectra with the polarizer angle of 0 and 90 degrees or -45 and 45 degrees can be measured with the fast modulation of 50 Hz. New CCD detector, where the charge of each pixel is shifted up and down (Dig Dag) synchronized with two sets of FLC modulation, has been developed for MSE measurements.

The pitch angle of the magnetic field line is derived from the polarization angle of measured σ and π components of the $H\alpha$ line with the polarization

sensitive spectroscopy. The radial profile of a pitch angle of a local magnetic field is measured for the plasma with the magnetic field of 0.88 T and the magnetic axis of 92.1 cm in CHS. The spectra of the σ and π components of the $H\alpha$ line with the motional Stark effect are measured with the polarization sensitive spectroscopy. The major radius, where the local pitch angle is zero, shifts outboard from that calculated with coil current alone (no plasma) by 28 ± 16 mm. This shift is consistent to that predicted by the effect of finite beta due to bulk plasma and fast ions of heating neutral beam.

論文の審査結果の要旨

本学位論文は、モーショナルシュタルク効果(MSE)を利用したプラズマ内部磁場の測定に関するものである。磁気閉じ込め装置において、有限圧力プラズマ存在下の磁場が真空磁場からどのように変化するかを知ることは、プラズマの平衡、安定性にとって重要である。この目的のために、計測専用の中性水素粒子ビームをプラズマ中に入射し、そのビーム速度と磁場によるシュタルク電場が引き起こすH α 線の σ 成分と π 成分の偏光角を測定することによって、磁力線のピッチ角を知ることが出来る。

高山君は、先ず、空間分解能とドップラーシフトとのトレードオフから、垂直に入射されたビームに対して測定の視線方向を約37度と決定した。次に、ビームの広がり σ 成分と π 成分の重なりを与える影響を考察する上で必要なビームの発散角が、通常のCHSの運転条件(磁場0.9T以上)では約0.65度であることをシミュレーションで求め、かつ実際のビームの発散角も約0.65度であることを測定によって求めた。また、ビームのプロトン比の評価を行い、最終的にはスペクトル強度の最も強いフルエネルギーの1/3成分を対象とすることとした。更に、従来のMSE計測法(1) 光弾性変調器+干渉フィルター、(2) 2系統の直線偏光子+分光器、など)における問題点、即ち、磁場による偏光角のオフセット、光ファイバー毎の透過率の違いによるオフセットを解消するために、直線偏光子と強誘電液晶(FLC)を組み合わせた偏光計を開発した。FLCは電氣的に光学軸を制御できる半波長板であるので、偏光方向を90度回転させることが出来る。これによって1本のファイバーで直交する2方向の偏光成分を測定できることになるが、CCDのピクセルを電気信号によって上下させるDig Dag CCDを導入し、FLCの切り替えと同期させることによって、これを実現した。実験では、0度と90度、45度と-45度の偏光角の光を各々同一のファイバーにて測定した。FLCのリターダンスと光学軸の較正を行った。さらに、CCDに蓄積されるダークチャージとCCD冷却温度との関係、ピクセルの移動速度とスミア(移動中の露光)との関係、読み出しノイズの評価などを行い、50HzのモジュレーションでのMSE測定を可能とした。

これらによって、ピッチ角ゼロの位置の有限ベータによる外側シフトを理論計算との比較に足る精度で測定することが出来た。さらに、CHSの横長断面では、磁気軸上の磁場の向きが完全なトロイダル方向ではなく、垂直成分をもっている事を観測した。この垂直成分の磁場は、立体磁気軸成分によるものであるが、ヘリオトロン・トルサトロン型ヘリカル装置の立体磁気軸構造を実験的に確かめたのは、本論文が初めてである。

本論文は、有限ベータプラズマ中の磁場構造を知る上で重要な知見を与えるものであり、学位論文としてふさわしい学術内容を持っていると認められる。

高山君の学位論文に関して、専門分野、基礎分野について口述により学力を確認した。モーショナルシュタルク効果、測定技術、ヘリカル磁場構造、CHSプラズマの諸特性などについて広範囲の質問に的確に答えた。これにより、学位を与える上で十分な知識を有するものと判断できた。また、英文論文(top author)を1編発表している。本論文は英語で書かれており、英語についての学力も十分であると認められた。