

氏 名	杉 山 征 人 すぎ やま いく と
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 405 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 50 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	Studies on Excitation and Ionization Processes in Shock-Heated Plasma (衝撃波加熱プラズマの励起電離過程の研究)

論文調査委員 (主 査)
教 授 福 田 国 弥 教 授 神 元 五 郎 教 授 玉 田 珣

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は衝撃波加熱 He-H プラズマの電離緩和と H 原子の励起緩和を理論・実験両面より研究し、種々のプラズマ条件のもとにある励起原子を支配する原子過程を解明したもので、6章からなっている。

第1章緒論では、電磁衝撃波管の発達とこれと並行して発展したプラズマ分光学研究を概説し、電離及び励起緩和研究の重要性を明かにするとともに本論文全体の構成を述べている。

第2章では、T型電磁衝撃波管内の衝撃波プラズマに見られる複雑な構造の成因を実験的に明かにし、この構造を除去する種々の方法を検討したうえでL型電極を持つ衝撃波管がきれいな衝撃波プラズマを発生することを実証し、この改良型電磁衝撃波管の特性について述べている。

第3章では、0.005~1.5モル%の H₂ 分子を含む He ガスを上記改良型電磁衝撃波管内で加熱し第1反射衝撃波面直後で約 23,000°K の He-H 混合気体を発生させ、以後の電離緩和過程について He-Ne レーザー干渉計による電子密度の測定と He 及び H スペクトル線強度の分光観測による電子温度の測定を行い、観測された緩和時間の H 量増加に伴う短縮を解析結果と対比して検討している。

第4章では、衝突電離および励起断面積の最新のデーターを採用し、プラズマの衝突輻射モデルに基づいて、光学的に薄い H プラズマ内の主量子数35までの励起準位の速度方程式について数値計算を行い、各励起準位の占有係数と基底準位の電離及び再結合係数の値を電子温度 $1 \times 10^3 \sim 2.56 \times 10^5$ °K、電子密度 $10^6 \sim 10^{20}$ cm⁻³ の範囲にわたって求め数値表として与えている。また、各係数を支配する原子過程とプラズマ・パラメーター（電子温度と電子密度）との関係を調べ、低及び高電子密度両極限で成立する係数の近似式を導きかつその成立限界を明かにしている。さらにプラズマが光学的に厚くなった場合とくにケース B プラズマについて上記各係数の近似式がどのように変わるかを示している。

第5章では、第4章の計算結果を陽光柱 H プラズマに適用し、プラズマ中の電子密度の増加に伴い励起準位の状態はコロナ平衡、準飽和相、完全飽和相及び局所熱平衡すなわち LTE (Local Thermodynamic Equilibrium) と順次変化することを示している。また壁面再結合の大い陽光柱内にある原子およびイオ

ンの励起準位はコロナ平衡か準飽和あるいは完全飽和相にあり、このために準位間分布がボルツマン分布から甚しくずれることを説明している。

第6章では、第4章の衝突輻射モデルの計算結果に基いて第3章で述べた実験の第1反射衝撃波領域内での He-H の電離及び励起緩和について精密な解析を行い、混入 H 量の増加と緩和時間短縮の定量的な関係を示すとともに反射衝撃波面背後で観測された H パルマー系列スペクトル線強度の時間変化、すなわち初期ハンプとこれに続く強度の増加を H 励起準位がコロナ平衡、部分階段励起、完全階段励起及び LTE を通過する過程に対応させて説明している。さらにこれら各平衡状態を支配する原子過程を明かにして、状態間の遷移点を定義しているが、とくに従来曖昧であった LTE の物理的な意味を明快に定義し LTE 成立条件の理論値が第3章の実験で観測されたものとよく一致することを示している。また衝撃波プラズマで現われる部分及び完全階段励起状態が陽光柱プラズマにおける準飽和及び完全飽和相に対応することを明かにしている。

論文審査の結果の要旨

衝撃波による電離緩和の研究がプラズマ内原子過程を解明するうえで優れた方法であることは1957年 H. E. Petscheck 等により初めて示され、以来多くの研究が行われてきたが、励起緩和の研究は問題の複雑さのために殆ど研究が行われなかった。本論文は、この励起緩和の問題を衝撃波プラズマ研究の中心課題として取りあげ理論・実験両面において精密な研究を行い、従来定性的にしか論じられなかった励起原子のプラズマ中での平衡状態を解明したものであり、えられた成果は次の通りである。

(1) T 型電磁衝撃波管は電子温度 $1\sim 3\times 10^4\text{K}$ のプラズマを容易に発生することのできる装置であり Griem 教授等はこれを用いてプラズマ分光研究に多くの成果を挙げたが、この衝撃波管の欠点は発生する衝撃波が複雑な構造をもち再現性の高いデータを与えない点にある。本研究では L 型電極をもつ改良型電磁衝撃波管を製作し、T 型管のロレンツ力駆動とレール加速を巧みに結合し、放電駆動でしかもきれいな衝撃波の発生に成功している。

(2) 上記改良型衝撃波管内で微量 H_2 分子を含む He ガスを加熱し第1反射衝撃波面直後で約 $23,000\text{K}$ の He-H 混合気体を発生させ以後の電離緩和過程にそって電子密度変化と He 及び H スペクトル線強度変化の実測結果を与えているが、これは信頼度の高い理論計算を実行できる He-H 混合気体を実際に発生させこれに関する正確なデータを提供した極めて巧みな実験である。

(3) 衝突輻射モデルに基いて H プラズマ中での基底準位の電離及び再結合係数と主量子数35までの励起準位の占有係数を電子温度 $1\times 10^3\sim 2.56\times 10^5\text{K}$ 、電子密度 $10^6\sim 10^{20}\text{cm}^{-3}$ の範囲で計算し数表として与えているが、この数表は一般にプラズマ分光診断によって極めて有用なものである。また各係数を支配する原子過程とプラズマ・パラメーターとの関係を分析して低及び高電子密度両極限で成立する各係数の近似式とその成立限界を与えているが、その結果は励起準位の平衡状態を考察するうえの基礎をなすものである。

(4) 壁面再結合の大きい陽光柱 H プラズマに衝突輻射モデルの計算結果を適用し、励起準位は低電子密度におけるコロナ平衡から電子密度増加に伴って2つの中間状態、準飽和相および完全飽和相を通して

LTE に到達することを示し初めてこれら中間状態の存在とその出現条件を明かにした。

(5) 衝突輻射モデルの計算結果に基づいて(2)で述べた He-H 混合気体の電離及び励起緩和の実験事実に明快な説明を与えている。とくに H 励起準位は反射衝撃波面背後で電子密度増加に伴って順次コロナ平衡、部分階段励起、完全階段励起を通して LTE に至ることを示し、これら平衡状態間の遷移条件を明かにするとともに従来曖昧であった LTE 成立条件に新たに明確な物理的な解釈を与え、この解釈のもとではじめて LTE 成立条件の理論値と実験値が一致することを示した。さらに部分及び完全階段励起状態が陽光柱における準飽和及び完全飽和相と対応することを明かにし、衝突輻射モデル適用の一般性を示した。

以上要するに本論文はプラズマの電離及び励起過程を支配する原子過程を解明し LTE 成立条件の物理的な意味を明かにしかつプラズマ分光診断に有用な資料を提供したものであり、学術上・応用上貢献するところが大である。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。