

(論文内容の要旨)

B 型星は表面温度 1 – 3 万度の高温星である。B 型輝線星はこのうち約 12% を占め、高速回転をする赤道円盤を有することで特徴づけられる。近年の研究で、B 型輝線星の赤道円盤はケプラー回転をしていることが明らかになった。その力学的モデルとして、ケプラー回転に相当する角運動量を伴った質量が赤道から放出されるとする説が有力である。

申請論文は、力学的モデルとしてこれまで唯一計算されている等温モデルに対して、円盤は水素のみから成ると仮定して観測量を求め、観測と比較することにより実際の B 型輝線星円盤はどのような密度・温度構造をしているかを考察したものである。赤道円盤は B 型星からの強い紫外線により照射され、これを、可視域・赤外域での放射に変換する。また、円盤内の密度は星の表面密度に比して低く、このような状況では局所熱力学平衡状態から大きくずれる (non-LTE と呼ぶ)。このような状況では電離に関与する紫外域放射の輸送過程が最重要となる。本論文はこのため、連続光放射過程を厳密に扱い、線放射過程は速度を考慮した光子の円盤脱出確率で近似して解いている。すなわち、水素原子の各準位の電子滞在数に対する統計平衡の式を逐次近似法により解く。統計平衡の式中の連続光放射は積分して求めている。力学モデルは中心星は B1V とし、星の表面温度の $2/3$ の円盤温度 (電子温度) を仮定して、質量放出率の異なる 8 モデルおよび、 $1/2$ の円盤温度の 1 モデルを採用している。この結果、電子滞在数が連続光放射や線放射により、どのように決まるかを物理的に明らかにした。また、円盤中の各点、及び円盤全体でのエネルギー収支を計算し、紫外線に対して光学的に薄い場合は星表面温度の $2/3$ の円盤温度 (電子温度) で放射平衡が成り立ち、光学的に厚くなると、円盤内縁部では電離紫外線不足、外縁部ではライマン α 冷却により、2 カ所の低温部が存在すること、円盤全体では星表面温度の $2/3$ – $1/2$ の間の温度で放射平衡となることを明らかにした。

続いて、円盤で生成される紫外域–赤外域の連続光放射およびバルマー線輪郭を求め、観測と比較して、モデルの妥当性を検討した。また、バルマー線輪郭については、その特性である輝線のシングルピークやダブルピークがどのように生成されるかを考察し、円盤外径の観測結果からの従来の導出方法は円盤をどの方向からみるかに依存することを示した。力学モデルの妥当性については、連続光放射や線輪郭特性は観測を説明できるものの、等温モデルでは輝線強度等価幅が最大で $6 \text{ \AA}$ であり、観測される $30 \text{ \AA}$ に達しないことを結論している。

最後に、観測される輝線強度を説明できるモデルについて考察した。採用した等温力学モデルは、赤道における密度が半径の -3.5 乗に比例することで特徴づけられる。これに対し、密度が -2.5 乗に比例する場合を試算した結果、観測される輝線強度を超える値が得られることが分かった。このことから、現実の赤道円盤は採用した力学モデルよりも緩やかな密度勾配を持てば説明できることを示した。このような緩やかな密度勾配は、本論文で示された円盤内側での紫外線放射不足による温度低下により実現することを示唆し、連続光及び線特性・線強度の観測事実を説明できる現実的モデル構築の方向を明確にした。

(論文審査の結果の要旨)

B 型星の紫外線放射はバルマー領域($912\text{\AA}$ - $3646\text{\AA}$)に全放射の 90%以上が集中し、B 型星赤道円盤の電離状態にはバルマー連続光の役割が重要である。惑星状星雲や水素電離領域(HII 領域)ではその中心星が O 型星(表面温度 3 万度以上)であることから紫外線はライマン領域($912\text{\AA}$ 以下)で主として放射されていることと状況が異なる。論文では、B 型星赤道円盤では、ライマン連続光は円盤表層の基底準位電子滞在数決定に寄与するのみで、円盤のエネルギー収支にはバルマー連続光が決定的役割を果たすことを計算から明らかにした。また、円盤中の非局所熱力学的状態が、星からの希釈されたバルマー連続光の放射輸送と線遷移における光学的厚さの変化で主として決まることを結論し、物理過程を明確にした。また、円盤内の各点でのエネルギー収支を計算し、バルマー連続光が光学的に厚い場合には恒星近傍と外縁部に 2 カ所の低温領域が存在することを示し、その物理的理由を明らかにしている。これらの結果は、今後の B 型輝線星赤道円盤の解釈の基礎を与えるものである。

円盤中の非局所熱力学的状態が決まると、円盤からの連続光・線放射が計算でき、観測と比較することができる。採用した等温の力学的モデルでは、連続光や線輪郭特性は観測を説明できるものの、輝線強度が足りないという結論を得ている。等温の力学的モデルより密度勾配の緩やかなモデルで試算した結果、観測される輝線強度が得られること、そのような密度勾配は、本論文で示されたように、放射平衡を満たす場合、円盤内縁付近の低温領域に向かう温度勾配により得られることを示唆し、現実的なモデル構築の方向を明らかにした。

この方面での競合する最近の研究は、カナダとアメリカの 2 グループでなされているが、特定の B 型輝線星の観測結果を説明できるモデル構築が主眼であって、必ずしも B 型輝線星赤道円盤の物理を明快にはしていない。カナダのグループは宇宙化学組成を採用しているが、放射は近似的に解き、本論文に較べてあいまいさが残る。宇宙化学組成を採用した結果は水素のみの場合と基本的に変わらないこと、密度分布は等温力学モデルより緩やかな、半径の -2.5 乗に比例する場合が観測にあうと結論している。一方、アメリカのグループは等温力学モデルを採用し、放射はモンテカルロ法で解いているので、本論文と同じく厳密な解が得られるが、連続光に対して光学的に厚い場合はその手法から厳密解に至るのは困難である。また、輝線の計算はなされておらず、本論文の結論、即ち等温の力学的モデルでは輝線強度が説明できないことには言及されていない。この 2 グループは、放射平衡を満たす温度分布を求めており、本論文で示された円盤内縁付近の低温領域と符号する。しかしながら、本論文も 2 グループも放射平衡を満たす力学モデルには至っていない。本論文の特質は、放射過程の物理を明快にしたこと、現実の B 型輝線星円盤のモデル構築の方向づけを物理的に明らかにしたことにある。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。