

Ⅲ章 水素分子あるいは固体水素の形成に伴う熱不安定性

1. 序論
2. 安定性の解析
3. 高密度な星間雲の安定性 (モードⅠ)
4. 高密度な星間雲の安定性 (モードⅡ)
5. 要約及び考察

結語

謝辞

参考文献

論文内容要旨

銀河の構造・進化を理解する上で、星の生成過程を明らかにすることは重要である。本論文では、星の生成に関して重要と思われる星間雲の熱的性質及び安定性について、以下の3つの問題を、それぞれの章で論ずる。

I 星間雲の内部構造とその重力不安定性への効果

最近、星間ガスの加熱源として、従来提唱されてきた低エネルギー宇宙線に代って軟X線による電離を通しての加熱が有力視されている。軟X線は、星間ガスによる吸収の効果が大きいため、従来取り扱われているような空間的に一様な加熱源——軟X線——を仮定することは、特に星間雲の相では適当でない。ここでは、星間雲は外側から0.1～0.2 keVの軟X線によって加熱されているとし、星間雲内部での軟X線の吸収による減少を考慮しつつ、各点での熱平衡の条件から、星間雲内部の温度、密度分布を定めた。ただし、星間雲は星間ガスの二相モデルに従って、星間雲のまわりのガスと圧力平衡にあるとし、さらに、自己重力を無視して、星間雲内部で圧力は一定とした。計算結果によると、二相モデルに現われる極大の圧力では、半径が約1パーセック程度のやや小さな星間雲でも、中心部ではかなりのX線強度の減少が認められる。従って、星間雲の中心部は一様なX線強度を仮定した場合よりずっと低温・高密度になり、重力的に収縮しやすい構造となる。こうした星間雲内部でのX線強度の減少は、星間雲での低い電離度の検出や、10K前後の低温ガスの存在などの最近の観測をよく説明できる。

上に述べたような星間雲の熱的性質に基づいて、星間雲の重力安定性を吟味してみると、雲の中心部で加熱源が遮蔽される効果のために、重力不安定性の生じる星間雲の質量は、200～300 M_{\odot} 程度になり、しばしば用いられる。Jeans質量(～ $10^3 M_{\odot}$)に比べて、かなり小さな質量の雲でも重力的に収縮できることになる。このような星間ガスの性質と、渦状銀河の腕に沿って生じる大規模な衝撃波との関連を考え合わせると、渦状腕に沿って著しくみられる星の生成は、うまく理解できる。

II 軟X線で加熱されている星間雲における水素分子の存在量

星間雲にかなりの水素分子が存在していれば、その熱的性質は、水素原子のガス雲の場合と異なるので、星間雲の構造及び安定性に影響を与えることが予想される。ここでは、ガスの加熱に必要な軟X線が、I章と同様に、外側から入射しているとして、X線の輸送を考慮しながら、星間雲内部での水素分子の量を、ガスの温度・密度と共に計算する。水素分子は、星間塵の表面で

形成されるとし、解離のプロセスとしては、紫外線 ($\lambda \sim 1000 \text{ \AA}$) の吸収によるものと、軟 X 線による電離を通しての解離の二つを考える。

計算結果によれば、深さが 0.1 ~ 0.2 パーセックの、星間雲の表面近くまでで、分子の解離に有効な紫外線はさえぎられ、それより内部の大部分の領域では、ほとんど軟 X 線が水素分子の存在量を決定する。つまり、中心に向って、X 線が弱まるにつれて、水素分子の量は増大する。このようにして求められる水素分子の存在量は、最近の紫外線の吸収の観測から得られる値とよい一致を示す。

III 水素分子あるいは固体水素の形成に伴う熱不安定性

水素分子がガスの冷却に寄与していて、水素分子の量が、ガスの温度・密度の変化に敏感に反応する場合には、一種の熱不安定性が生じる可能性がある。又、密度の大きな星間雲では、水素分子が星間塵の表面に吸着して、固体水素の形で存在することも予想されている。そうした場合には、ガスの数密度が著しく減少する効果により、一種の不安定性が期待される。

線型摂動解析で、水素分子あるいは固体水素の形成が起っているガスに対して、上に述べた不安定性の判定式を求め、これを星の生成の場として興味をもたれる密度の大きな星間雲に適用してみる。その結果、水素分子の形成に対しては安定であるが、固体水素が形成される場合には不安定である。この不安定性は、Jeans 波長よりずっと短い波長に対して現われ、又、成長する時間尺度は、重力によって自由落下する時間 (free-fall time) よりも充分短いので、星の生成に際して、ガス雲の重力崩壊あるいは雲の分裂を引き起こす効果が期待される。

論文審査の結果の要旨

恒星は星間物質が凝縮して出来たものであることは古くから考えられていることであるが、この凝縮過程についての理解は、多くの研究がなされているにもかかわらず、未だ不十分である。本論文は星間物質の主成分である水素の物理的状態を研究し、それに基づいて星間雲の構造、これに関連して起こる重力不安定、水素の相変化に伴う熱不安定等を吟味し、凝縮過程の理解を深めることを目的としたものである。

星間ガスの加熱源が軟X線であるとする星間空間の物理的状態がよく説明され得ることは最近次第に明らかになりつつある所であるが、著者はこの仮説を全面的に採用し、球形の星間雲模型が外部より軟X線で照射されている場合の内部の構造を輻射拡散近似を用いて計算し、定性的に妥当な結果を得ることに成功した。特に、星間雲の加熱にあずかる軟X線および紫外線が星間雲自身によって遮蔽されることによって、雲の中心部では低温かつ高密度になること、したがって、内部構造を無視している諸説はこの点で不十分であることを指摘し、重力の不安定を生じ得るために必要な最小の雲の質量として、従来の通説よりも小さな値を得ていることは注目に値する。

また、このような議論で重要な役割をなす水素の分子と原子の比を、星間塵上での原子の結合と紫外線および軟X線による分子の解離によって定められるものと仮定して、これらの輻射の雲による吸収を考慮して決定し、観測と一致する結果を得ている。

高密度星間雲の水素原子が水素分子になる過程、あるいは固体水素として星間塵に付着する過程では圧力の減少を伴うため熱不安定を生ずる可能性があるが、これらの過程について線型理論を用いて吟味し、分子の形成によっては不安定は生じないが、固体水素の形成に対しては熱的に不安定になることを示し、この不安定が成長する時間尺度が重力収縮の時間尺度よりも短く、従って星間雲の収縮に重要であることを示し、これが重力不安定とともに、銀河の大規模衝撃波に伴う星間ガスの圧縮と相扶けて雲の崩潰、分裂を引き起こし、ひいては恒星の形成へと進むであろうことを指摘している。

以上本論文は星間雲内部の物理的状態を明らかにするとともに、星間雲収縮の初期の段階を理解するのに貢献することが大である。

よって佐場野裕提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。