

Super Massive Black Hole formation by cold accretion in the first galaxies

森田 一平 (九州大学大学院 地球惑星科学研究科)

Abstract

超大質量ブラックホールの新しい形成シナリオの提案を行う。今まで提案されていたシナリオにはいくつか欠点があり、その欠点を補うことのできるシナリオである。冷たい降着流の流入した層では熱くて密な層が形成され、その層でガスが収縮し、超大質量星を形成することができる。超大質量星を形成するための熱進化を水素の個数密度と温度を変化させることで突き止めた。

1 Introduction

宇宙に初めて星ができ始めたのは宇宙誕生後 1 億年から数億年 ($z=10-20$) の時である。一方で、宇宙誕生後 8 億年後の high- z ($z>6-7$) の宇宙で SMBH の存在を示すクェーサーが発見されている。天体の最大成長率である Eddington 降着率を保ってブラックホールが成長すると SMBH になるためには 8 億年が必要である。しかしながら、観測事実から初代星が SMBH になったとすると数億年の間に質量を増加させなければならない。そのため、SMBH の形成時間の短縮が必要である。この形成時間の短縮のためにどのようなシナリオであれば適切であるのかを探ることが今回の研究の目的である

2 Methods

冷たい降着流の衝撃を受ける層での熱進化を計算し、超大質量星形成条件を探る。冷たい降着流は定常で plane parallel を仮定する。衝撃後の層の温度は $T_{Vir} \sim 10^4 K$ 以上とする。

冷却時間

$$t_{cool} = \frac{(\frac{3}{2})n_H k_B T}{\Lambda_{net}} \quad (1)$$

Λ_{net} : 単位質量あたりの冷却率

自己収縮時間

$$t_{ff} = \sqrt{\frac{32}{3\pi G\rho}} \quad (2)$$

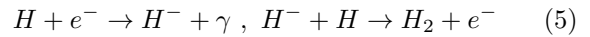
水素と温度の初期値は以下の通りである。

$$10^2 < n_{H,0} < 10^7, \quad 3000K < T_0 < 10^5 K \quad (3)$$

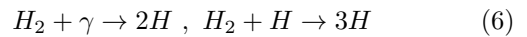
$t_{cool} < t_{ff}$ の時ガス雲は等圧圧縮を続け、重い質量の星を形成する。 $t_{cool} > t_{ff}$ の時、収縮を止め、密な層を形成する。ガス雲が分裂した後の密度進化は中央の核の自己収縮により増加する。よって密度進化は以下のようになる。

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\rho}{t_{ff}} \quad (4)$$

最も主要な冷却材の形成の反応と解離の反応は以下の通りである。 H_2 が形成される反応



H_2 の衝突解離の反応



3 Results

冷たい降着流の流入により起こる衝撃でできる初期銀河中の高温で高密度な領域 (図の青色部分) で超大質量星が形成される。図の青色部分でないところの初期値を与えると、冷却が効き、自己収縮を止めてしまい、目的とする大きな質量を持つ星はつくることができなかった。図の青い部分での初期値を与えると、Ly α 放射により、8000K まで冷却されるもののそれ以上は冷えず、8000K あたりから伸びている実線に乗ることになり、超大質量星を形成できた。

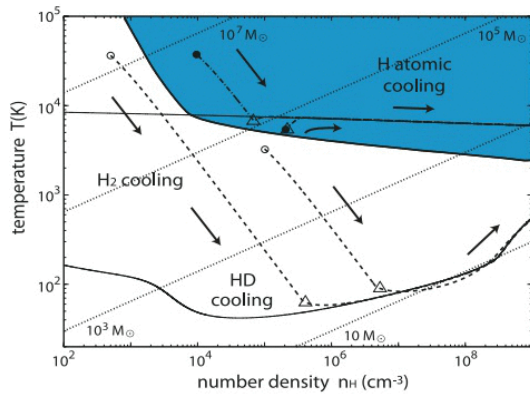


図 1: ガス雲の熱進化を表す図。点線が熱進化の過程を表す。縦軸は温度、横軸は水素原子の個数密度を表す。

Reference

Inayoshi and Omukai et al. 2012 MNRAS,423,2539

4 Discussion

今回のレビューではプライモーディアルなケースのみを紹介したが、実際は金属量などの考察も加えてある。金属量に関してはプライモーディアルなケースで起こる場合を考えても今回はあまり問題とならないため省いている。今後は初期値に与えたパラメーター自体が実現可能であるかを調査することが必要である。

5 Conclusion

今までの超大質量ブラックホール形成で考えられていたシナリオは2つである。1つ目の星質量ブラックホールの質量増加による形成はブラックホールが最大降着率を保てないことに問題があった。2つ目の超大質量星の超新星爆発による超大質量ブラックホール形成は時間的なスケール自体には問題がなかったものの、冷却材の解離を光解離としていることに問題があり、この時点の遠紫外線のエネルギーが不足していた。今回のシナリオにおいては強力な遠紫外線を必要とせずに超大質量星を形成するという自然な流れでこの形成過程を説明することに成功した。今回のシナリオであれば、高温・高密な領域を作り出せ、超大質量ブラックホールを形成することが可能である。