

超大質量ブラックホール形成シナリオにおける ライマンアルファ輻射の効果の解明

阿左美 進也(筑波大学)

利用カテゴリ XC-B

研究概要

赤方偏移 $z>7$ の時期において質量が $10^9 M_{\odot}$ を超えるような超大質量ブラックホール(SMBH)が存在することが観測されている。しかしながら、宇宙誕生から10億年程度の非常に短い期間においてこのような超大質量ブラックホールを形成するシナリオは未だ明らかになっていない。現在、いくつかのシナリオが提案されており、そのうちの1つであるdirect collapseシナリオに着目する。Direct collapseシナリオでは、初代星形成時期の赤方偏移 $z=20\sim30$ において質量が $\sim 10^5 M_{\odot}$ の種ブラックホールを形成することにより、短期間でのSMBHの形成を可能にするシナリオである。初代星形成の材料である原始ガス雲は水素とヘリウムからなり、近傍銀河等で見られる金属元素が存在しないため、主な冷却材としてガス雲中で形成される水素分子冷却が優勢となり、恒星質量の初代星を形成する。一方で、水素分子冷却を抑制することにより、ガス雲は高温を保ちながら収縮するため、質量が $\sim 10^5 M_{\odot}$ の超大質量星を経て種ブラックホール形成が可能になる。

Direct collapseシナリオを実現するために必要な外部紫外線輻射強度を、2017年に新たに提案されたガス雲の水素原子冷却の際に放出されるライマンアルファ($\text{Ly}\alpha$)光子の効果を含めて求めることで、高赤方偏移でのSMBH形成シナリオの実現可能性を評価する。

研究結果

現在まで取り入れられてこなかった $\text{Ly}\alpha$ 輻射輸送を1次元無限平行平板近似および輻射拡散方程式として数値計算を行うことで、水素分子形成抑制効果を求めた。先行研究との比較を行うために、ガス雲は一様球ガス雲を仮定し密度を変化させた場合の $\text{Ly}\alpha$ による H^- 破壊率および水素分子形成率、外部紫外線輻射による水素分子破壊率をポストプロセスとして求めた。得られた結果を図1に示す。水素分子形成を抑制できる領域を灰色で示してある。低密度領域では、外部紫外線により水素分子を光解離することで水素分子を抑制できるが、密度が高くなると、水素分子の自己遮蔽効果により外部紫外線は減衰しガス雲中での水素分子形成が可能になる。しかしながら、より高密度になると $\text{Ly}\alpha$ 光子による H^- 光解離が優勢になるため、再び原始ガス雲中での水素分子形成が抑制される。

以上の結果から、水素分子の自己遮蔽効果により外部紫外線の水素分子形成抑制効果が減衰する領域においても、 $\text{Ly}\alpha$ 光子による H^- 破壊により水素分子形成が抑制されるため、ガス雲を高温に保つために必要な外部紫外線輻射強度を小さくできる可能性があることがわかった。Direct collapseシナリオによるSMBH形成の確率は、必要な外部紫外線輻射強度 J_{crit} に

対して、 $(J_{crit})^{-4}$ の関係があることから、 $\text{Ly } \alpha$ 光子の H^- 破壊を含めることによりSMBH形成に対するdirect collapseシナリオの寄与がより重要になることが示唆された。

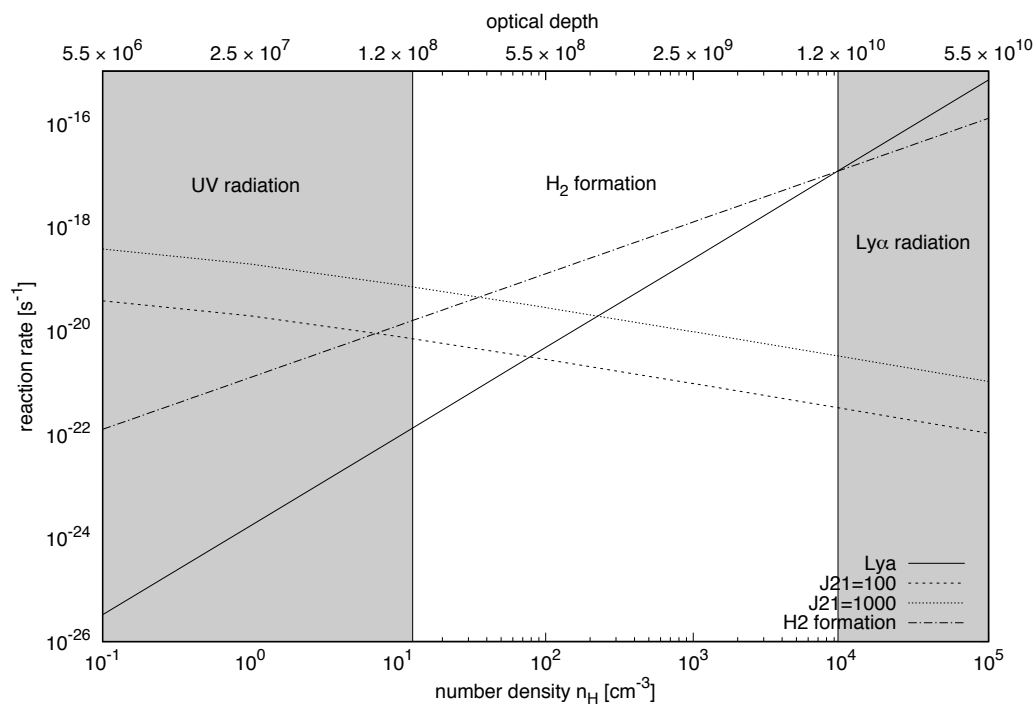


図 1. ガス雲の密度の変化に対する水素分子に関連する反応率を示している。実線が $\text{Ly } \alpha$ 光子による H^- 破壊率、一点鎖線が水素分子形成率、点線が外部紫外線強度 ($J_{21} = 100$, $J_{21} = 1000$) による水素分子破壊率を表す。上部の横軸は、密度に対応する $\text{Ly } \alpha$ 光子の中心振動数でのガス雲全体の光学的厚みを示している。灰色で塗られた領域は、水素分子形成率よりも水素分子破壊率が優勢な領域であり、ガス雲中での水素分子形成を抑制できる。