

問題2 宇宙に存在する水素

水素は宇宙にある最も豊富な元素であり、その元素質量の約75%を構成している。残りはほとんどヘリウムであり少量の他の元素もある。水素は量が多いばかりでない。それはすべての他の元素の基本成分である。

水素は太陽のような星に豊富である。それゆえに、1000億を越える星から成る銀河系は水素に富んでいる。星間距離は平均して数光年である。水素はまた星間空間の主な構成成分である。宇宙には約1000億の星雲がある。星雲間の空間は果てしなく広い。例えば、銀河系は最も近い隣のアンドロメダ星雲から200万光年も離れている。水素はまた星雲外の主な構成成分であるが、その水素の数密度は星間空間におけるよりはるかに小さい。星雲間では現時点の温度は2.7Kの宇宙背景放射であるが、そこでの物質の平均密度は約1原子/m³である。

2-1. 星雲間にある水素原子の平均速度、 $(8RT/\pi M)^{1/2}$, を計算しなさい。

2-2. 水素原子の断面積、 πd^2 , にその速度を乗じることにより、1秒間に1個の水素原子が通り抜ける衝突円柱の体積を計算しなさい。ここで、 d は水素原子の直径(1×10^{-8} cm)である。その中心が円柱内にある分子はきっと衝突を受けるだろう。

2-3. 上記の体積に数密度を乗じることにより、一個の水素原子が経験する1秒あたりの衝突数を計算しなさい。1個の水素原子が星雲間にある他の原子と出会うためには何年かかるか。

2-4. 星雲間における水素の平均自由行程 λ を計算しなさい。 λ は衝突の間に1個の粒子が進む平均距離である。

水素原子は星雲内の星間領域では比較的多くて、1 cm³ 当たり約1原子である。推定温度は約40Kである。

2-5. 星間空間における水素原子の平均速度を計算しなさい。

2-6. 星間空間における水素の平均自由行程(λ)を計算しなさい。

2-7. これらの結果から、宇宙において化学反応が起こりうる確率についてどんなことがいえるか答えなさい。