

宇宙創成物理学概論 第4回 レポート

暗黒物質と宇宙～素粒子実験物理学からのアプローチ～

C3SM2016 木村佑斗

2023年5月31日

1. 太陽と地球の間の距離 L はおよそ $1.5 \times 10^8 \text{km}$ である [1]。太陽系付近でのダークマターの密度を 0.4GeV/cm^3 と仮定すると、太陽を中心とする半径 L の球体内に存在する総エネルギー E_{dark} (単位 eV) が求まる。さらに $1 \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ と、アインシュタインのエネルギーと質量の関係式 $E = mc^2$ により、エネルギー (単位 eV) を質量 (単位 kg) に変換できる。

$$\begin{aligned} E_{dark} &= 0.4 \text{GeV/cm}^3 \times \frac{4}{3} \pi \times (1.5 \times 10^{13} \text{cm})^3 \\ &= 1.8 \times \pi \times 10^{39} \text{GeV} \end{aligned}$$

単位を J に変換する。

$$\begin{aligned} E_{dark} &= 1.8 \times \pi \times 10^{39} \text{GeV} \\ &= 1.8 \times \pi \times 10^{39} \times 10^9 \text{eV} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{J/eV} \\ &= 2.88 \times \pi \times 10^{29} \text{J} \end{aligned}$$

したがって、質量 M_{dark} は

$$\begin{aligned} M_{dark} &= \frac{2.88 \times 3.14 \times 10^{29} \text{J}}{(3.0 \times 10^8)^2 \text{m}^2/\text{s}^2} \\ &\simeq 1.0 \times 10^{13} \text{kg} \end{aligned}$$

となる。

2. 我々が 60kg 分の ^{12}C で構成されているとすると、これはすなわち、

$$\frac{60 \times 10^3 \text{g}}{12 \text{g/mol}} \times 6.0 \times 10^{23} \text{個/mol} = 3.0 \times 10^{27} \text{個}$$

の ^{12}C で構成されていることになる。また 80 年は 2.52288×10^9 秒である。1 秒あたりに WIMP たちが 1 個の ^{12}C と相互作用する回数を考える。ここで WIMP 1 個あたりの質量を $m \text{GeV}$ と置く。すると、エネルギーの密度は数密度に直せる ($\frac{0.4}{m}$ 個/ cm^3)。1 秒あたりに単位面積 (1cm^2) を通過する WIMP の個数 N は、 $\beta = 10^{-3}$ であるから

$$\begin{aligned} N &= \frac{0.4}{m} \text{個/cm}^3 \times 3 \times 10^7 \text{cm/s} \\ &= \frac{1.2}{m} \times 10^7 / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

となる。断面積が $\sigma = 10^{-47} \text{cm}^2$ なので、1 秒あたり、 ^{12}C 1 個あたりと相互作用する WIMP の個数 N_{int} は、

$$N_{int} = \frac{1.2}{m} \times 10^7 / \text{cm}^2 \times 10^{-47} \text{cm}^2 = \frac{1.2}{m} \times 10^{-40}$$

となる。したがって我々が一生のうちに WIMP と相互作用をする回数 N_{int}^{tot} は

$$\begin{aligned} N_{int}^{tot} &= N_{int} \times 3 \times 10^{27} \times 2.5288 \times 10^9 \\ &\simeq \frac{9.1}{m} \times 10^{-4} \\ &\simeq \frac{1}{m} \times 10^{-3} \text{回} \end{aligned}$$

と計算できる。ここで WIMP の質量は $1\text{GeV} \sim 1\text{TeV}$ と考えられていることから、 m に $1 \sim 1000$ を代入すると結局、我々は一生のうちに $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 回 WIMP と相互作用することになる。1,000 人から 1,000,000 人に 1 人は WIMP と相互作用ができるということになる。

3. まだ私は WIMP と衝突していないはずだ。なぜなら私は 1000 人に 1 人の確率に該当するほど運が良くないからだ。

参考文献

- [1] JAXA 「地球から太陽までは何光年ですか？」 https://www.isas.jaxa.jp/kids/faq/q_a/016.html