

宇宙科学 I (金 2) レポート作りのための参考プリント (第 5 問～第 11 問)

注意：ワード書類で公開すると、そのまま印刷して出す人が出ると困るので、PDF のみでの提供とさせていただきます。

これは、あくまでレポート作成のための参考プリントです。講義録を傍らに置いて、理解しながら自分なりのレポートに仕上げてください。暇だったら試験対策プリント作りますが、実際、過去問で十分だと思います。

5、(超新星の明るくなる理由) (講義中に説明有)

超新星爆発の際に、鉄の光分解によって中心で発生した衝撃波が、星の表面を通過すると、星の表面温度が数千度から数十万度へと上昇すると同時に、激しく膨張する。星の明るさは、ステファン・ボルツマンの式から、

$$L = 4\pi R^2 T^4$$

と書けるので、半径が大きくなり、また温度が高くなることで、光度が大きくなる。よって、超新星は、非常に明るく輝くことがわかる。

6、(白色矮星の最短周期) (自分で計算せねばなりません)

遠心力で飛ばないことより、

$$R\omega^2 < \frac{GM}{R^2}$$

を満たせばよい。この式を変形していって、

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 < \frac{GM}{R^3}$$

$$T^2 > \frac{4\pi^2 R^3}{GM}$$

値を代入すると、

$$T^2 > \frac{4 \times (3.14)^2 \times (5000 \times 10^5)^3}{(6.67 \times 10^{-8}) \times (1.99 \times 10^{33})}$$

$$T > 6.09[s]$$

よって、最低で 6.09 秒の周期で回転できる。

7、(ブラックホールに人間は入れるだろうか) (講義ノートに解答有)

ブラックホール半径はシュバルツシルト半径のこととする。

まず、太陽と同じ質量のブラックホールを考える。

人間を、両端に m の質量の付いたひもとして考える。このひもの張力が 1t まで耐えられるとして考える。

$m=30[\text{kg}]$ 、 $l=170[\text{cm}]$ 、ブラックホールまでの距離 r 、加速度 a とすると、

$$\text{頭の運動} \quad ma = -\frac{GMm}{r^2} + T$$

$$\text{足の運動} \quad ma = -\frac{GMm}{(r+l)^2} - T$$

辺々を引き算して、
$$2T = \frac{GMm}{r^2} - \frac{GMm}{(r+l)^2}$$

ここで、
$$\frac{1}{(r+l)^2} = \frac{1}{r^2} \left(1 + \frac{l}{r}\right)^{-2} = 1 - 2\frac{l}{r}$$
 と書いて (近似式)、

$l \ll r$ より、 $T = \frac{GMml}{r^3}$ と書ける。この式を r について解いて、値を代入すると、

$r = 880[\text{km}]$ となり、人は、 $880[\text{km}]$ のところまでしか入っていくことができない。

ここで、このブラックホールの半径は、

$$r_g = \frac{2GM}{c^2} = \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-8} \times 2 \times 10^{33}}{(3 \times 10^{10})^2} \approx 3[\text{km}]$$

よって、人はブラックホールに到底入ることはできない。

次に、太陽の1億倍の質量のブラックホールで考え、上と同様な計算を行うと、

人の入っていける距離は、 $r \approx 410,000[\text{km}]$ 、ブラックホール半径は、 $3 \times 10^8[\text{km}]$ より、人はブラックホールの中に入っていくことができる。

8、(dark matter の存在) (講義中に説明有)

銀河に存在する全ての星やガスの質量を合計したときに、理論的に考えられる速さよりも、ずっと速く銀河は回転している。その銀河の回転速度を説明するためには、銀河内に、目に見えないが、質量を持った物質、すなわちダークマター(dark matter)が存在すると考える必要がある。

9、(ビッグバン宇宙の観測的証拠) (講義ノート及び講義中に解答有)

●ハッブル則

遠い銀河ほど速く遠ざかる、というもの。これはすなわち、宇宙がある一点から出発したことを示している。

●ベリウム量

宇宙に存在するヘリウムを、星の核融合反応だけで作るとしても、現在宇宙に存在する量を作ることができない。しかし、宇宙初期に火の玉宇宙を経過すれば、中性子が陽子と反応し、重水素となり、ついにヘリウムまで合成が可能である。よって、ビッグバン宇宙論を用いれば、説明がつく。

●3K 宇宙背景輻射

「宇宙の晴れ上がり」のとき(宇宙が光に対して透明になったとき)、宇宙は約 3000K の黒体輻射で満たされていた。その後、宇宙は約 1000 倍に膨張し、現在に至っている。ウイーンの変位則により、もし宇宙が 1000 倍に膨張したら、波長も 1000 倍になって、温度は 3000K の 1000 分の一の 3K となる。これは、現在観測されている宇宙背景輻射の温度に一致している。

10、(惑星系の生成過程) (講義ノート及び講義中に解答有)

まず、中心星に向かって落下してくるガスや塵により、中心星の周りに降着円盤ができた。そしてこれらの中の塵の密度が大きくなり、塵同士が合体成長し、これらは長い時間を経て、赤道面に向かって沈降を始める。ここで、赤道面に集まった塵は、互いの重力によって集まり、微惑星を形成する。この、ランダムな運動に対し、自己重力によって塵が集まる不安定性を、ジーンズの重力不安定と呼ぶ。そしてこの微惑星は、互いに衝突合体し、次第に大きな原始惑星へと成長していく。この成長は、質量の大きい微惑星ほど周りの微惑星をたくさん吸収して大きくなることから、寡占的成長と呼ばれる。原始惑星の質量が増えることで惑星表面の重力が増し、ガスの熱運動のエネルギーが重力ポテンシャルよりも小さくなると、ガスの熱運動では脱出速度に満たなくなる。このとき、円盤のガスは原始惑星にとらえられ、惑星は太陽組成のガスを、自分の周りに持つことができるようになった。(地球型惑星はこの条件を満たさず、太陽組成の原始大気をもてなかった)

11、(省略) (自分で考えるしかありません)