

# FUCK

## THE SPACE SCIENCE EXAM

まあ70良が80優になるってレベルwwwww

用語とか(25点以上の価値)

1. 色指数2008w1, 2011w1  
青色光(Blue)と黄緑光(Visual)の二つに対してそれぞれフィルタリングして測った天体の等級(絶対、見かけどちらでもよい)の差(B等級-v等級)は星の色を表し、色指数と呼ばれる。色指数は星の温度と一義的に関係している。
2. チャンドラセカル限界質量2002s1, 2005s1w1, 2006s1  
白色矮星の密度は質量が上がるほど高くなるが、電子の縮退圧で支えられる白色矮星の質量に上限があり、これをチャンドラセカル限界質量と呼ぶ。
3. 太陽中心部で起こる核融合反応の安定性2001s1, 2005s1, 2009w1  
水爆などと異なり主系列星の水素核融合が安定である理由は、星が自己重力系であるために系全体の比熱が負であるという性質による。つまり、核融合反応の熱で温度が上がると、星全体が断熱膨張して逆に中心温度は下がるので見かけの比熱が負になる。これが核融合反応の爆発的進行を抑える安定化のメカニズム。(水爆では自分自身が出した熱により温度が上昇し、反応速度がさらに高まる。)
4. ヘルツシュプルングのギャップ2005s1w1, 2006s2, 他1  
7倍太陽質量の星の進化において、HR図上を左から右(p48の図でC-D)に移動していく時間は非常に短く、この領域にある星を見つけることはまれである。この領域をヘルツシュプルング・ギャップという。
5. ブラックホールの蒸発2002s1, 2005w1, 2006s1, 2008w1, 2011w1  
ブラックホールの温度は質量に逆比例し、質量が非常に小さい高温のブラックホールは輻射を出して消えてしまう。このことをブラックホールの蒸発と呼ぶ。また、宇宙初期から消えずに残っているブラックホールをミニブラックホールと呼ぶ。

6. 重元素の起源2001s1, 2006w1, 2007w1, 2009w1  
宇宙初期に存在した元素はH, Heであったがこれをもとに星の内部でそれより重い元素ができた。超新星爆発の時に、星の内部で核融合により作られた重元素は宇宙空間に放たれる。その元素が生命の原料となっている。(鉄の分解型ではC, N, Si, 炭素爆燃型ではFeが多く放たれ、この二つの型の超新星をある割合で混ぜると現在の太陽の重元素量がほぼ説明できる。)
7. 月の起源2001s1, 2005w1, 2006w1, 2008w1, 2009w1, 2011w1  
ジャイアントインパクト説によると地球に同サイズの惑星が衝突したことにより、周りにガスが漂い、このガスが冷却して塵となってジーンズ不安定(ガスの熱運動によるランダムな塵の運動に抗って自己重力により塵が集まる不安定)により合体し、微惑星の場合と同様に微衛星が形成される。そのうち質量の大きなものが小さいものを吸収して暴走成長・寡占的成長し、ロッシュ限界(地球の重力範囲)内の微惑星が地球に落下して、のこったものが月となった。
8. セファイド2001s1, 2005s1, 2006s3w1, 2007w1, 2009w1, 2011w2  
セファイドは周期的に明るさが変化するが、平均絶対光度が明るいほどその周期は長い(周期-光度関係)。これを利用して測定した絶対光度と見かけの光度の差からセファイドの距離がわかる。セファイドを標準光源にすることにより銀河の距離をもとめることができる。
9. レーダーエコー実験2004w2, 2006w1, 2008w2, 2009w1, 2011w2  
金星や火星に対して撃った電波が地球に戻ってきた時間を図り、金星または火星と地球の間の距離を測る実験。その距離とケプラー第3法則により地球の軌道半径が求まる。軌道半径は年周視差による距離測定に重要である。
10. 大気の窓2005s1, 2006s1, 2008w1, 2011w1, 他1  
ガンマ線、エックス線、赤外線は大気の吸収を受けて地上まで届かないので大気圏外での観測でしか使えない。大気の窓とはこれらと異なり可視光、赤外線の一部、ミリ波より波長の長い電波のように地球大気による吸収を受けずに大気を透過する電磁波の波長帯のことである。

11. 超新星の意義 2000s1、2002s1、2005w1、2006s1、2007w1、2008w1、  
重元素の起源。

12. ppチェーン 2006s1、他1  
陽子(水素原子核)が高温条件下で互いの反発力に勝る運動エネルギーを持ち、強い力により合体するのを繰り返してヘリウム原子核になる反応。1.1Msより軽い星で主体となっている。

13. CNOサイクル他1  
C,N,O の原子核を触媒とした核反応水素よりも原子核の持つ反発力が大きいので大きな運動エネルギーが必要となる。1.1倍太陽質量より重い星の、高温の領域で反応。熱発生率は温度上昇に敏感。

14. ビッグバン の3つの証拠 2000s1、2002s4、2007w1,2011w1  
(1)ハッブル則により宇宙が1点から始まったと考えられること。  
(2)3K宇宙背景放射の波長と3Kとの積はウィーンの偏移則  $T=2900$ を満たし、同様に考えて、宇宙の膨張に比例する波長の値から、ビッグバンによって昔3000Kの黒体放射が宇宙を満たしていたと考えることができること。  
(3)ヘリウムの存在量が星の内部で作られたと仮定するには多すぎる事。  
以上3点の観測的事実。

15. 宇宙の階層構造 2001s1  
教科書1ページ参照。てゆうか出る確率低い。

16. 潮汐力 2002s1  
ブラックホールの計算問題を参照

17. 宇宙の晴れ上がり2002s1  
初期の膨張宇宙においてプラズマ状態の電離水素が中性原子になることで輻射は電子に散乱されずにまっすぐ進めるようになる。これにより宇宙は遠くまで光を見渡すことができ、これを宇宙の晴れ上がりと呼ぶ。

18. 線スペクトル 2000s1  
連続スペクトルとは逆に、分布の範囲が狭いスペクトルのこと。フラックスが回りより大きいものを輝線、小さいものを吸収線と呼ぶ。

19. 重力レンズ 2000s  
非常に強い重力場により光の進路が曲げられる現象。これにより、宇宙における重力減の分布がわかるが、これがまだ観測されていない重力減=ダークマターの存在を予言する。  
20. 負の比熱2000s1  
3.核融合の安定性を参照。

なぜかステファンボルツマン忘れてました  $w \propto T^4$

問題とか(残り75点確保)

・HR図を見て星の進化の様子を簡潔に説明せよ(教科書の図も見てください)  
この問題は恒星の質量が1Ms,7Ms,20Msの3つについて出題されている。  
進化の各段階における星の内部構造を図を用いて説明することを求められているほか、7Msの場合には、ヘルツシュプルングのギャップとセファイド不安定帯(EとFを通っているループの上を星が動くとき、通過する領域で、ここでは星がセファイドになる。)の説明も必要。

答え(図は書いて覚えようね)

±1倍太陽質量の星の進化

太陽と同程度の質量の星=小質量星。星の中心で輻射平衡、じわじわと水素がなくなり、消費しつくと主系列を離れる。その後ヘリウム中心核が形成され、その周りの水素に富む外層との二極分化が進み、ヘリウム中心核は密度が高いので縮退。水素殻の燃焼が進むとヘリウム核の質量が増え密度が上がって半径が縮む。それにつれて更に水素殻が激しく燃えて、外層は膨らみ、表面温度が下がって表面对流層が深くなると最終的には外層全体が対流層となる。外層が対流平衡になると、林の限界線(赤色巨星分岐)に沿ってHR図中を上昇。この段階の星を赤色巨星と呼ぶ。

(講義ノート46頁がとても重要です)

±7倍太陽質量の星の進化

太陽の数倍=中質量星。中心部は対流平衡、対流核でいっきに水素が無くなってヘリウム核が形成される。このヘリウム核は縮退しない。水素がヘリウム核全体でほぼ同時になくなるため水素殻燃焼がやむと、熱源がなくなるのでコア自身が収縮し重力エネルギーを解放する。このとき外層も収縮するので星の表面温度は上昇、HR図を左へ動く。このコアの収縮で温度が上昇すると周りの水素に火が着き、水素外層の収縮は止まる。しかしヘリウム核は収縮を続けて温度を上げるので、水素核燃焼は盛んに

なって逆に外層はいっそう膨らみ、表面温度を下げながらHR図中を右へ移動。(この移動は短い時間であるため、この位置に在る星は滅多にみつからない。この領域CDをヘルツシュプラング・ギャップと呼ぶ。)外層で対流層が発達すると赤色巨星段階、(49頁の図、大事)

7倍太陽質量の星でも、炭素・酸素コアが形成される。このコアは密度が高く縮退圧で支えられるが、収縮しないので中心温度の上昇は起こらず、炭素の燃焼には移行しない。よって、この段階で進化は止まる。同様、恒星風による質量放出ののちに、炭素・酸素コアが中心星となり、白色矮星として観測される。

±20倍太陽質量の星の進化

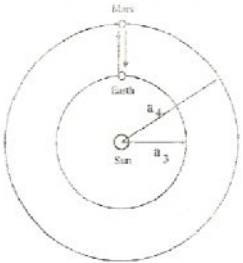
太陽の10倍以上の質量＝大質量星。赤色巨星段階までは7倍と同様。ヘリウム核が6倍太陽質量程度になるとヘリウムに火が着き、安定に燃える。ここではトリプル・アルファ反応が起こるが、燃焼温度が高いほど酸素の生成が増える。星の半径は膨れて表面のガスが恒星風として流れ出すが、コアが縮退していないので、圧力勾配をつくるためにコアは収縮し、中心核の温度が上がるにつれて、炭素、ネオン、酸素、シリコンと重い元素がつつぎつつぎに燃えていく。シリコンが燃えて鉄になったら終了。しかし、鉄の中心核の温度が重力収縮で100億度を越えると、黒体輻射の高エネルギー光子がガンマ線となって飛び交っているため、鉄の原子核がこれを吸収してバラバラになる。これを鉄の光分解と呼ぶ。吸熱反応であるため、光分解が始まると中心の温度は下がり、重力に拮抗できなくなって潰れてしまう(爆縮)。これによって、星は中心部に中性子星を残して吹き飛んでしまう超新星爆発を起こす。

(51頁の図、大事です...52～53はまとめ。)

ねむいよー

- ・ レーダーエコーは次のページ

問題 4. 宇宙における距離の測定に関して次の問に答えよ。



- (1) 地球の軌道半径を  $a_3$ 、火星の軌道半径を  $a_4$  とする。共に円軌道として、遠心力と重力の釣り合いの式を導きなさい。ただし、地球の周期を  $P_3$ 、火星の周期を  $P_4$  とする。 (配点 5)

$$ma_3\left(\frac{2\pi}{P_3}\right)^2 = \frac{GMm}{(a_3)^2} \qquad ma_4\left(\frac{2\pi}{P_4}\right)^2 = \frac{GMm}{(a_4)^2}$$

- (2) レーダーエコーの実験を火星に向かって行い、行って帰って来るエコー時間として  $t_{34}=523\text{sec}$ (秒)を得た。ここで、地球の公転周期を  $P_3=1$  年、火星のそれを  $P_4=1.88$  年、光速度を  $c=3.0\times 10^8\text{m/sec}$  として、 $a_3$  および  $a_4$  を有効数字2桁で求めよ。必要なら、 $(1.88)^{2/3}=1.52$  を使いなさい。 (配点 10)

レーダーエコーの実験により求められる式  $a_4 - a_3 = \frac{523}{2} \times 3.0 \times 10^8 [\text{m}]$  と、上の2式より求める。

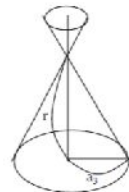
$$(a_3)^3 (2\pi)^2 = GM(P_3)^2 \quad , \quad (a_4)^3 (2\pi)^2 = GM(P_4)^2 \text{より } G \text{ と } M \text{ を消去して、}$$

$$(a_4)^3 = (a_3)^3 \times (1.88)^2 \text{ となり、これより、}$$

$$a_3 = 1.5 \times 10^{11} [\text{m}] \quad a_4 = 2.3 \times 10^{11} [\text{m}] \text{ と求められる。}$$

- (3) パーセク (pc) の定義を述べ、その値を有効数字1桁で求めなさい。 (配点 10)

地球の公転によって星の位置が天球上を楕円移動するが、その公転の長半径を角度の秒の単位で表したのを年周視差といい、この逆数をパーセクという。年収視差1度するとき、1パーセクとする。



$$r \cdot \tan \theta = 1.5 \times 10^{11}$$

ここで  $\theta$  が非常に小さいとき、  
 $\tan \theta \approx \theta$  となって、

$$r = \frac{1.5 \times 10^{11}}{\theta} \quad \theta \text{ は、ラジアンなので、度に変換すると、}$$

$$r = \frac{1.5 \times 10^{11}}{\left(\frac{\pi}{180 \times 60 \times 60}\right)} \approx 3 \times 10^{16} [\text{m}]$$

よって、  $1[\text{pc}] \approx 3 \times 10^{16} [\text{m}]$  ■

・ ドレイクの式

問題 3. 次のドレイクの式は、われわれの銀河系（天の川銀河）に存在する宇宙文明の数  $N$  を予測する式である。  
この式に関して、次の問に答えなさい。

$$N=R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

(1) ドレイクの式の右辺の意味を簡潔に述べ、 $N$  の合理的な値を推測しなさい。なお、ここで $R^*$ は star を意味し、 $p$  は planet、 $e$  は earth、 $i$  は life、 $i$  は intelligence、 $c$  は culture の頭文字であると考えてよい。最後の大文字の  $L$  についてのヒントはない。（配点 10）

(2) 最後の項  $L$  の値をいろいろ変えた場合、 $N$  の値も変わる。われわれの銀河系を直径 10 万光年の円盤で近似した場合に、この  $N$  の値によって、もっとも近い地球外文明との交信に何年かかるかを概算し、交信できるかどうかの可能性について述べなさい。（配点 10）

$R^*$ : 天の川銀河 = 銀河系において毎年新しい恒星が生まれる数。

$f_p$ : 恒星が太陽系のような惑星系を持つ割合。

$n_e$ : 一つの構成あたり、地球のように生命発生にとって都合の良い条件を備えた惑星の数。

$f_i$ : 生命発生に適した条件を持つ一つの惑星あたり、生命が発生する確率。これは地球のよう

に生命発生し適した条件を持つ惑星では必ず生命が発生するという仮定に基づく。

$f_c$ : 生命が知的生命体に進化しうる確率。

$L$ : 知的生命が技術文明を作り上げることのできる確率。

$L$ : 文明社会の持続する時間。

これらを覚えたらあとは計算するだけ。

あと関連問題として、例の結婚制度（多分人間という一つの主に 2 つの性別が存在し。。。という生物学的性と、ジェンダー的性とかについてかけばいいとおもわれ。）とか、変な絵のメッセージ（左側に太陽系、右上に炭素と酸素、下中央に生命体の図、その右に身長、各惑星における人口とかそんなかんじでかいてあるやつ）の問題があります。

・ ブラックホール

$$m_a = - \quad +$$

$$m_a = - \left( \frac{\quad}{+} \right) -$$

これを使って計算するやつですね。

・ 宇宙梯子

レーダーエコー（地球の軌道半径）< 年周視差（太陽近傍の星の距離）< セファイド光度差（近傍銀河）

このように近傍から、測定方法を変えて、遠方の天体の距離を測定してゆく。

まあ絶対光度  $M$  と見かけの光度  $m$  の差  $M - m = 5 - 5 \log r$ （距離がフラックスに逆比例することによる。） $d = 10^{0.2(M - m + 5)}$  pc とか覚えてればいい。

・ パルサー

重力 = 遠心力つかって

・ ハッブル則

ハッブル則だけでなく重力に関する運動方程式の積分により宇宙年齢を求める方法も確認すること（p 6 5）

また、2 0 0 8 w 4, 2011 w 4 みたいなものもあるから p 7 6 みとけ。