２００３年度

京都大学　大学院理学研究科　物理学・宇宙物理学専攻
宇宙物理学・天文学分野
修士課程

筆答試問　問題

応用数学　物理学 I

（ 200 点 ）

［ 時間　　2 時間 ］

注意
1．　問題は４頁、４問題である。
2．　解答は問題毎に別紙に作成すること。
3．　答案用紙一枚毎に受験番号と氏名を記入すること。
4．　問題用紙は持ち帰ること。

I

微分方程式

$$P(x, y)\,dx + Q(x, y)\,dy = 0 \qquad ①$$

について、次の問に答えよ。

問1．方程式①が、完全微分方程式、つまり、左辺がある関数の全微分となっているための必要十分条件は、

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial x} \qquad ②$$

であることを示せ。

問2．微分方程式

$$(2x - y + 1)\,dx + (2y - x - 1)\,dy = 0 \qquad ③$$

を解け。

II

問 1 理想気体が断熱膨張するとき，圧力 P と密度 ρ の間には

$$P = K\rho^{\gamma} \tag{1}$$

の関係があることを示せ。ただし，$\gamma = C_p/C_v$ で、C_p, C_v はそれぞれ，1モル当たりの定圧比熱、定積比熱である。また、K は比例定数である。

一定の重力加速度 g の下にある理想気体から成る大気を考える。大気底面からの高さ z での圧力，密度，温度を，それぞれ，$P(z)$, $\rho(z)$, $T(z)$ としよう。

問 2 圧力と重力がつりあっているとき，つりあいの式を書け，

問 3 平均分子量 μ および温度 T が一定の大気の場合，密度を高さの関数として求めよ。また，密度が 1/e 倍 になる高度差 (scale height) はいくらか。

つぎに，対流で熱が運ばれる場合を考える。対流要素は，その圧力が，まわりの大気の圧力と等しくなるように調整しながら，断熱的に上昇・下降するとしよう。この結果、大気はいたるところ，このような対流要素から成り，結局，式 (1) の K は、層全体で一定とみなすことができる。対流要素の速度は小さいので、**問 2** の圧力と重力のつりあいも成り立つ。

問 4 対流層での密度と温度を高さの関数として求めよ。

III

球対称ポテンシャル中での質量 m_0 の粒子の状態を調べる際には、以下の様な極座標系での Schrödinger 方程式が用いられる。

$$\left[\frac{p_r^2}{2m_0} + \frac{\boldsymbol{\ell}^2}{2m_0 r^2} + V(r)\right]\psi = E\psi \tag{1}$$

但し、p_r は動径運動量演算子

$$p_r = \frac{\hbar}{ir}\frac{\partial}{\partial r}r \tag{2}$$

であり、$\boldsymbol{\ell}$ は r を含まない演算子で軌道角運動量演算子と呼ばれる。

問 1．$\boldsymbol{\ell}^2$ の固有値 $\ell(\ell+1)\hbar^2$ に対応する固有関数 $Y_m{}^\ell(\theta,\phi)$ を用いて波動関数を $\psi = r^{-1}u(r)Y_m{}^\ell(\theta,\phi)$ としたとき、u の満すべき方程式を書け。

問 2．量子数 m の名称と物理的意味を書け。

以下、簡単のため $\ell = 0$ ($Y_0{}^0(\theta,\phi) =$ 定数) の場合のみを考え、$V(r)$ を球対称井戸型ポテンシャル

$$V(r) = \begin{cases} -V_0\,, & (r < a) \\ 0\,, & (r > a) \end{cases} \tag{3}$$

(但し $V_0 > 0$) とする。以下の問いに答えよ。

問 3．束縛状態は離散的固有値を持つことを示し (グラフによる図示でも可)、少なくとも 1 つの束縛状態が存在するための a, V_0 に関する条件を求めよ。

問 4．束縛状態が存在する場合の最低エネルギー状態の波動関数 $\psi(r)$ を r の関数として図示し (規格化の必要はない)、古典論との違いについて述べよ。

Ⅳ

単振動している荷電粒子に一様磁場をかけたとき、粒子の運動はどうなるか考える。これはゼーマン効果の古典モデルである。以下の問いに答えよ。

問1　電磁場、重力場のない空間で、距離に比例する力を受けて単振動している荷電粒子の運動方程式を書け。ただし、荷電粒子の質量を m、電荷を e、粒子に働く力を $-a\mathbf{r}$ とし、$a > 0$ とする。$\mathbf{r} = (x, y, z)$ は原点からの位置ベクトルである。単振動の角振動数 ω_0 と、a、m の関係はどうなるか示せ。

問2 問1のシステムに一様磁場 $(0, B, 0)$ をかけたときの、荷電粒子の運動方程式を書け。

問3　問2の方程式の一般解を求めよ。(ヒント：解が $e^{i\omega t}$ に比例するとせよ。)

問4　ラーモア（ジャイロ）振動数 $\omega_L = eB/m$ が単振動の角振動数 ω_0 よりずっと小さい場合、粒子の固有振動数 ω は、$\omega \simeq \omega_0 \pm \frac{1}{2}\omega_L$ となることを示せ。（この振動数変化が、ゼーマン効果における光子の振動数変化の物理的理由である。）

問5　問4の場合、粒子の xz 平面に投影した軌道はどうなるか、概略を図示せよ。

2003年度

京都大学　大学院理学研究科　物理学・宇宙物理学専攻
宇宙物理学・天文学分野
修士課程

筆答試問　問題

[redacted]

（ 200 点 ）

［ 時間　　2 時間 ］

注意　1.　問題は6頁、4問題である。
　　　2.　解答は問題毎に別紙に作成すること。
　　　3.　答案用紙一枚毎に受験番号と氏名を記入すること。
　　　4、　問題用紙は持ち帰ること。

I

積分

$$I = \int_0^2 dx \int_0^x \frac{dy}{\sqrt{(x-y)^2 + 2(x+y) + 1}}$$

を計算する。以下の問に答えよ。

問 1. xy 平面上の領域 $D: 0 \leq x \leq a,\ 0 \leq y \leq x$ (a はある実数) を、

$$T:\ x = u(1+v),\ y = v(1+u)\ (u, v \geq 0)$$

によって変換する。この変換 T によって領域 D は uv 平面上のどういう領域に変換されるか。図示して答えよ。

問 2. 連続な関数 $f(x,y)$ の領域 D における積分に関して変換 T を行なう。このとき

$$\int_0^a dx \int_0^x f(x,y)dy = \int_0^b dv \int_v^{a/(1+v)} f(u(1+v), v(1+u))\ (u+v+1)du$$

が成り立つことを確かめ、b の値を求めよ。

問 3. 変換 T を用いて I の値を求めよ。

II

$L(t)$ は $N \times N$ 対称行列, $B(t)$ は $N \times N$ 反対称行列である。t は時間を表す。たとえば、$N=3$ のとき、L と B は実関数 $a_n(t), b_n(t)$ $(n=1,2,3)$ を用いて

$$L = \begin{pmatrix} b_1 & a_1 & a_3 \\ a_1 & b_2 & a_2 \\ a_3 & a_2 & b_3 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & -a_1 & a_3 \\ a_1 & 0 & -a_2 \\ -a_3 & a_2 & 0 \end{pmatrix},$$

のように表される。行列 $L(t)$ は非線型発展方程式

$$\frac{dL}{dt} = BL - LB \tag{1}$$

を満たす。方程式 (1) は Lax の形式と呼ばれる。格子を伝搬する非線型波動ソリトンの運動方程式はこの形式で書くことができる。

$L(t)$ の固有値が時間に関して不変であることを以下の手順で示そう。

問１． 行列 $U(t)$ は

$$\frac{dU}{dt} = BU \tag{2}$$

に従うものとする。初期に

$$U(0) = I \tag{3}$$

であれば、$U(t)$ は常にユニタリーである、すなわち、常に

$$U(t)U^T(t) = I \tag{4}$$

が成り立つことを示せ。ここで I は単位行列、添え字 T は転置行列を意味する。

問 2.

$$U^T(t)L(t)U(t) = L(0) \tag{5}$$

であることを示せ。

$L(t)$ の固有関数を $N\times1$ 行列 $\phi(t)$、固有値を $\lambda(t)$ とする。

$$L(t)\phi(t) = \lambda(t)\phi(t). \tag{6}$$

$L(t)$ は実対称行列であるから固有値 $\lambda(t)$ は実数である。

問 3.

$$\phi(t) = U(t)\phi(0), \tag{7}$$

ならば、

$$\lambda(t) = \lambda(0), \tag{8}$$

であることを示せ。

Ⅲ

次の文章を読んで、問１から問３の問題の答えを、途中の計算式および数値計算の過程などとともに解答用紙に書け。数値の答えは、誤差がおおむね１０％以内になるように計算して求めること。

ヘリウムガスを詰めた気球に、観測装置を付けて放球する時の気球の上昇運動について考えてみよう。

科学観測に用いられる気球は、厚さ０．０４mm位の薄いポリエステル膜等のような一種のプラスティックの薄膜が用いられる。以下の問題においては膜は、ガスの圧力がかかっても伸び縮みはしないものとする。また、膜$1\,m^2$あたりの重量は、４０ｇとし、そのほかの吊り下げ用のひも類の重量は無視してよいものとせよ。

実験に用いる気球は、完全に膨らんだ状態で半径１０ｍの球状になるものとする。

問１． 放球時には、気球には、完全に膨らむ状態までヘリウムガスを入れないで、重さが１８０ｋｇの観測装置を吊り下げた状態で正味の浮力Ｆが３５ｋｇ重になるようにガスを充填するものとすると、何m^3 のヘリウムガスを気球に入れておけば良いか計算せよ。

ただし地上で、２０℃のときの１気圧の空気の密度は、$1\,m^3$ あたり、1.２０５ｋｇ、ヘリウムの密度は、$1\,m^3$ あたり0.１６６ｋｇである。

問２． 気球が放球されて上昇していく運動を記述する気球の運動方程式について考察する。ここでは、運動の水平方向の成分は無視する。

a) 速度ｖで上昇する気球に対する空気抵抗の力：f_aは、近似的に、$f_a = \xi \cdot v$ とかけるものとして、放球直後の運動方程式を書け。

注：空気抵抗の係数ξという量は、一般には気圧と気球の上面の表面積に依存するが、ここでは、放球後しばらくの間はξ一定であると仮定せよ。

b) このような条件のもとでは、放球した気球は、しばらくするとほぼ一定の速度になって上昇して行く。その理由を運動方程式とその解の考察に基づいて説明せよ。

また、その場合、一定の速度になってから上昇速度が測定され、約１０ｍ／ｓであることがわかったとする。放球後、およそどのくらいの時間で、その一定速度に近づくか、目安となる時間（具体的な秒数）を求めよ。

問３． 最終的にこの気球はいくらの高度まで上昇するか考えて見よう。

空気の密度の高度ｘに対する依存性は、近似的には、$\rho(x) = \rho_0 \cdot \exp(-x/h_0)$ という式で表すことが出来るとしよう。ρ_0は地上での空気の密度、h_0は８ｋｍ（scale height と呼ばれる量）である。ここでは簡単のため、気温の変化などに関係なく上式が成り立つとしてよい。

気球は完全な球体の形状に比べて約８０％の体積を超えるようになると、気球の内圧が急激に上昇し始めるため、ガス放出弁からヘリウムガスを速やかに放出できるようになってい

る。弁が開いたあとは上昇運動がすぐに減少して「正味の浮力」がゼロになるので、ガス放出弁が再び閉じられてその時の高度を保つ。これら動作の間の高度変化は十分小さく無視できるものとすると、この気球の到達した高度はいくらか。

数値計算では、以下の自然対数の表を参考にせよ。

(参考用の対数表)

x	2	3	5	7
$\log_e x$	0.693	1.099	1.609	1.946

IV

等温理想気体の媒質が重力と圧力勾配の釣り合いで定まる平衡状態にあるとする。重力の方向を z 方向と定め、鉛直上向きを z 軸の正方向とする。本設問では、この平衡状態への微小摂動が鉛直方向 z へ音波として伝搬する様子を調べよう。z 軸に垂直な面内では、どの z においても一様等方かつ無限とする。なお、平衡状態の物理量には添字0を、微小摂動量には添字1を割り振る。

重力加速度 g が一定である場合、平衡状態における媒質の質量密度 $\rho_0(z)$ は

$$\rho_0(z) = \rho_0(0)\mathrm{e}^{-z/H} \tag{1}$$

と z 依存性を持つ。ここで、H は c_s^2/g、c_s は音速である。微小摂動量に対する流体力学の基礎方程式はそれぞれ

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_0 u_1)}{\partial z} = 0 \qquad \text{（質量保存の式）} \tag{2}$$

$$\frac{\partial(\rho_0 u_1)}{\partial t} = -\frac{\partial p_1}{\partial z} - \rho_1 g \qquad \text{（運動方程式）} \tag{3}$$

$$p_1 = c_s^2 \rho_1 \qquad \text{（気体の状態方程式）} \tag{4}$$

である。ここで、t は時間、u は速度、p は圧力である。

問 1．$\rho_1/\sqrt{\rho_0}$ の z 方向への2階微分を計算し次の係数 A と B を求めよ。

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}\frac{\rho_1}{\sqrt{\rho_0}} = \frac{1}{\sqrt{\rho_0}}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\rho_1 + A\frac{1}{H}\frac{1}{\sqrt{\rho_0}}\frac{\partial}{\partial z}\rho_1 + B\frac{1}{H^2}\frac{\rho_1}{\sqrt{\rho_0}} \tag{5}$$

問 2．式(2)、式(3)、式(4)より $\rho_1/\sqrt{\rho_0}$ を変数とした次式

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c_s^2\frac{\partial^2}{\partial z^2} + C^2\right]\frac{\rho_1}{\sqrt{\rho_0}} = 0 \tag{6}$$

が導かれる。C(正の値とする) を c_s と H を用いてあらわせ。必要ならば問 1の結果を用いてよい。

問 3．$\rho_1/\sqrt{\rho_0}$ が $\exp[i(\omega t - k_z z)]$ に比例するとして、式(6)から ω と k_z との関係式を導け。ここで、ω は振動数、k_z は z 方向への波数である。さらに、導かれた関係式の波数依存性をグラフで示せ。

問 4．前問において許される振動数の絶対値に下限があることが分かる。その物理的理由を述べよ。

2003年度

京都大学　大学院理学研究科　物理学・宇宙物理学専攻
宇宙物理学・天文学分野
修士課程

筆答試問　問題

天文学

（200点）

［時間　2時間30分］

注意
1. 問題冊子は6頁である。
2. 問題I、II、IIIのうちから、2問題を選択して解答せよ。
3. 解答は問題毎に別紙に作成すること。
4. 答案用紙一枚毎に受験番号と氏名を記入すること。
5. 問題用紙は持ち帰ること。

I

天体のスペクトルを観測する時には、反射型回折格子(以下では、単に回折格子という)を用いた分光器がよく利用される。この回折格子について考えてみよう。

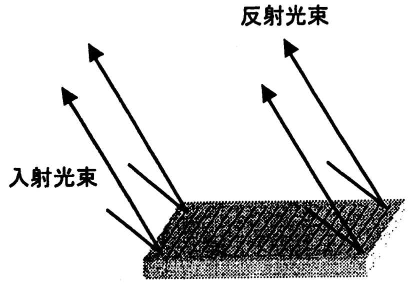


図 1

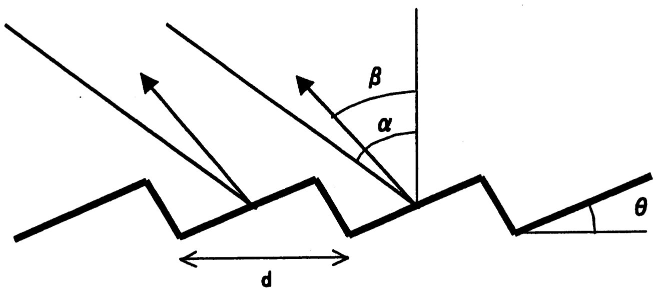


図 2

回折格子は、図 1 のように、ガラス板に等しい幅を持つ多くの細い溝を等間隔に並べたものである。この回折格子に平行光束をあてると、おのおのの溝から光が反射されてくる。この反射光は、細いスリットを通過する平行光束の場合と同様に、回折により角度広がりをもったものとなる。各溝からの反射回折光が互いに干渉し、その結果、平行光束は波長によって異なる角度で反射される。このことを利用して分光スペクトルが観測されている。回折格子の断面を拡大すると、図2に示すように、溝はノコギリ歯状になっており、反射率を高めるため面は鏡のようにメッキされている。図で示すように、溝の傾斜角は θ、溝の間隔はdとする。また、波長 λ の平行光束が、回折格子法線に対して角度 α で入射し、回折光は角度 β の方向に反射するものとする。

問1. 隣り合う溝から反射される回折光の光路差は、$d(\sin\alpha+\sin\beta)$ となることを示せ。

問2. すべての溝から反射される回折光の干渉を考慮すると、回折格子から角度 β 方向に反射してくるのは、すべての回折光が互いに強めあう波長の場合のみである。 この波長は、$m\lambda=d(\sin\alpha+\sin\beta)$ を満たすものであることを示せ。ここで、mは正の整数で、回折スペクトルの次数とよばれるものである。

問3. α、m、dがあたえられたとき、波長 λ の回折スペクトル光の強さは、溝の傾斜角 θ によって大きく変化する。回折スペクトル光がもっとも強くなるのは、$\theta=(\alpha+\beta)/2$ のときであることを示せ。

問4. α が一定のとき、反射角 β に対する回折波長 λ の依存性を回折スペクトルの分散度といい、$\partial\beta/\partial\lambda$ で定義される。分散度を、m、d、β を用いてあらわせ。

問5. 回折格子スペクトルの分解能を考えよう。これは、回折格子でスペクトルを観測する場合、どの程度接近した波長の光を区別できるかという回折格子の性能である。図 3 のように、幅 A で回折格子から反射する平行光束は、幅 λ/A の角度広がりをもって伝播する。従って、光の伝播方向の角度差が、この角度拡がり以下のものは区別できない。区別可能な角度差に対応する波長差を $\delta\lambda$ としたとき、回折格子の分解能は、$\lambda/\delta\lambda$ で与えられる。$\lambda/\delta\lambda=mN$ となることを示せ。ここで、Nは回折格子の溝の総本数である。

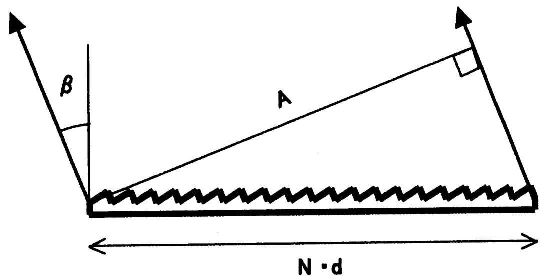
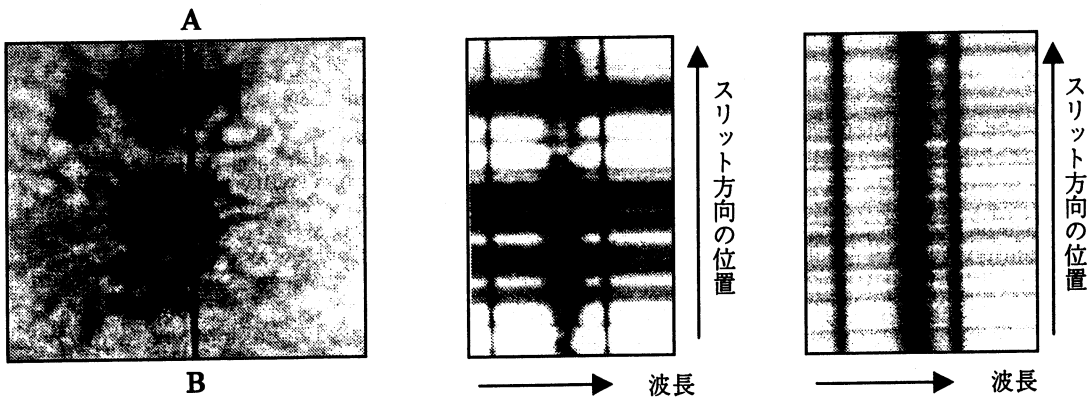


図 3

問6. 回折格子を用いて撮影された太陽表面の高分散スペクトルの例について考えよう。図4(a)には、太陽黒点の直接像を示す。図の黒い線分 AB は、分光器スリットの位置であり、このスリット上の各点のスペクトルが図4(b)に示されている。図4(b)で横方向は波長を示し、縦方向はスリット上の位置を示す。縦方向の黒い線が吸収線に対応する。中央の吸収線が、ゼーマン効果により波長分離が見られる FeI6302.5Å線である。両脇の細い吸収線は、地球大気によるものである。スリット上に黒点がある場所では連続光強度が小さく、そのため横縞模様が見えている。また、図4(c)は、太陽平穏領域に分光器スリットを位置付けたときのスペクトルであり、その波長域は、(b)と同様である。スリット方向の場所によって連続光強度が異なり、この図でも横縞模様が見えている。このスペクトル像では、FeI6302.5Å線の中心波長も場所によって異なっている。これらのスペクトルから黒点および平穏領域について、どのような物理量を導きだすことができるか簡単に述べよ。



(a) (b) (c)

図4

II

白色矮星、中性子星、ブラックホールのようなコンパクト天体 (質量に比べて大きさの非常に小さい高密度天体) に、例えば別の星から角運動量を持ったガスが降り注ぐと、コンパクト天体のまわりに降着円盤と呼ばれるガス円盤が形成される。この円盤の構造について考察する。

図 1 降着円盤を含む連星の想像図
右が降着円盤で中心にコンパクト天体がある。左の星からガスが降り注いでいる。

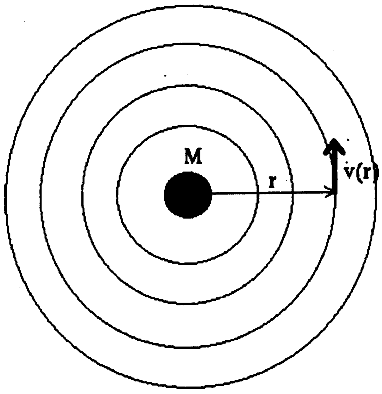


図 2 降着円盤の概念図 (回転軸から見た図)

なお、ガス円盤中のガスは平面上にのみ存在し、厚みは無視できるものとする。ガスの運動は近似的に円運動であるとする。相対論的効果は考慮しない。

円盤からの放射は黒体放射で表されるものとする。黒体の単位面積あたり単位時間あたりの全波長で積分された放射量は、黒体の温度を T として T^4 に比例することを利用してよい。

万有引力定数は G とせよ。

問 1 Kepler 円運動における重力と遠心力の釣り合いの式を示し、質量 M の中心天体から距離 r の点におけるガスの運動速度 $v(r)$ を求めよ。

問 2 問 1 の結果は、ガスの運動速度が r によって異なることを示している。半径 r の領域と、そこからわずかに離れた半径 $r+dr$ の領域のガスには速度差が存在するため、ガスに粘性があれば摩擦が働くことになる。この摩擦を考慮した場合、半径 r のガスと半径 $r+dr$ のガスに働く摩擦力はそれぞれの半径のガスに対してどちらの向きに働くかを説明せよ。

問 3 問 2 で示したような摩擦力が働く結果、半径 r のガスと半径 $r+dr$ のガスの間で角運動量の輸送が起きる。この輸送の向きを示し、なぜその向きに輸送が起きるかを説明せよ。

現実の降着円盤では、このような角運動量の輸送があらゆる半径において連続的に起きていると考えることができる。その結果、ガスは中心天体に徐々に落下してゆく。ここで、降着円盤の定常状態を考えてみる。定常状態においては、任意の点 (たとえば半径 r) における密度、温度などの物理量は時間的に変化しない。

密度が時間的に変化しないことから、半径 $r+dr$ から 半径 r へのガスの単位時間当たりの流れの量と、半径 r から 半径 $r-dr$ へのガスの単位時間当たりの流れの量は等しくなくてはならない。あらゆる半径で定常状態が実現されているため、この量は r によらない定数となる。

問4 定常状態の円盤の温度が時間的に変化しないことは、ガスが半径 $r+dr$ から 半径 r に移動する時の位置エネルギーの解放が、ガスの運動エネルギーの増加と外部へのエネルギー放射の和に費やされると考えることができる。この場合、位置エネルギーのうち、1/2がガスの運動エネルギーの増加に費やされることを証明せよ。

問5 問4における外部へのエネルギー放射が黒体放射によるとすると、定常状態における降着円盤の表面温度は $T(r)\propto r^{\beta}$ の形で書ける。β の値を導出せよ。

問6 実際の天体においては、降着円盤を空間的に分解して観測することは難しい。しかしながら、コンパクト天体と通常の星からなる連星系で、連星の公転面 (すなわち降着円盤の存在する面) をほとんど真横から見るような天体では、通常の星が降着円盤の前を横切ってゆく (食現象と呼ばれる) ことによる光度の時間変化を観測することによって、問5で導かれたような温度構造を観測的に検証することが可能である。図3はそのような観測例であるが、この観測結果からどのような情報が読み取れるかを列記し、それぞれどのように解釈できるかを図の説明を参考にして定性的に論述せよ。

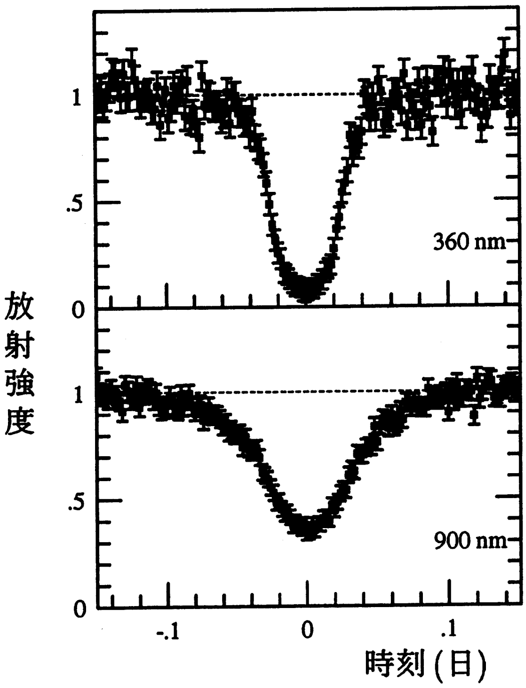


図3

[図の説明]
左の図は降着円盤の手前を星が通過した時に観測された明るさの時間変化である。横軸が時刻で、左から右に時間が経過する。上下のパネルは、それぞれ波長 360 nm, 900 nm の観測である。各パネルの縦軸は観測された放射強度の相対値で、食現象が起きていない時の平均強度を1に規格化してある。時刻0において、隠す星の中心と降着円盤の中心天体が一致する。隠す星は降着円盤に比べて十分に低温で暗く、この波長域においては放射強度は0とみなしてよい。温度の高い黒体はより短波長の光を多く出し、黒体放射がピークになる波長は $2.90\times10^{6}\ T^{-1}$ (nm) で与えられる。

III

宇宙論的な距離にある遠方天体において波長 λ_1 で放射された光は、現在の地球にいる観測者によって λ_1 より長い波長 λ_0 で観測される。この波長のずれを赤方偏移といい、$z = \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1}$ と定義する。

現在では赤方偏移の原因は宇宙膨張であると考えられているが、この考えに至るまでには他の原因も提唱されていた。例えば、宇宙は曲率ゼロの通常の 3 次元空間で膨張もしていないが、遠方からやってくる光は何らかの原因でエネルギーを失い波長が長くなるという「疲れた光子」説というものがあった。

膨張宇宙説と疲れた光子説のどちらが正しいかを観測的に検証する方法の一つとして、銀河の面輝度の z 依存性を調べる Tolman test というものがある。ここで面輝度というのは、観測者側で、単位面積、単位時間、単位立体角あたりに到達するエネルギーのことである。以下 Tolman test について考えてみよう。なお、実際の銀河には渦巻き等の構造が見られるが、ここでは簡単のために、一様な面輝度をもつ円盤として見えているものと仮定する。

問 1　膨張のない曲率ゼロの通常の 3 次元空間を考えると、光子の疲れがなければ、面輝度は距離に依存しないことを示せ。

問 2　赤方偏移を光子のエネルギーの減少と考える疲れた光子説では、面輝度は $1 + z$ に反比例することを示せ。

次に、膨張宇宙説を考える。遠方銀河において時刻 t_1 と $t_1 + \delta t_1$（δt_1 は微小時間）に放射された光が、現在の地球の観測者にそれぞれ、t_0 と $t_0 + \delta t_0$ に到着したとする。このとき、

$$\frac{\delta t_0}{\delta t_1} = 1 + z$$

となる。さらに、この銀河の全光度を L (J/s) とし、現在、地球から距離 D(m) の場所にあるとしよう。

問 3　この場合、銀河から放射された光子は現在 $4\pi D^2$ の面に到達しているので、観測されるエネルギー流束 f (J/s/m^2) は、

$$f = \frac{L}{4\pi D^2}$$

となりそうだが、実は、

$$f = \frac{L}{4\pi D^2 (1+z)^2}$$

となる。その理由を示せ。

問 4　膨張宇宙では、上記の銀河の直径 l を見込む角度 θ は、

$$\theta = \frac{l}{D}(1+z)$$

となる。これを用いて、膨張宇宙では面輝度が $(1+z)^4$ に反比例することを示せ。

問 5　以上の結果をもとに、赤方偏移の原因を観測的に検証することを考える。zがほぼゼロのある銀河の面輝度を測定したところ、19.0 等級／平方秒角であった。一方、$z = 0.4$ の銀河では 20.5 等級／平方秒角であった。ここに、1 平方秒角は立体角の単位で、1 秒角 ×1 秒角のことである。（1 秒角は 1 度の 3600 分の 1。）なお、このふたつの銀河の光度、スペクトル、構造は同じとして、二つの説のどちらを支持するか議論せよ。但し、測定の精度は十分によいものとする。

注：等級は、$-2.5 \log$（エネルギー流束）＋定数、で与えられるとせよ。
また、$\log 0.4 = -0.4$, $\log 1.4 = 0.15$, $\log 1.5 = 0.18$, $10^{1.5} = 31.6$ を使ってもよい。

２００３年度

京都大学　大学院理学研究科　物理学・宇宙物理学専攻
宇宙物理学・天文学分野
修士課程

筆答試問　問題

英語

（ 100 点 ）

［　時間　　１　時間　３０　分］

注意　１．　問題は３頁、２問題である。
　　　２．　解答は別紙に作成すること。
　　　３．　答案用紙一枚毎に受験番号と氏名を記入すること。
　　　４．　問題用紙は持ち帰ること。

次の問題Iと問題IIに答えよ。

問題I "Ambiguity in the Practice of Science"というタイトルの以下の文章を読んで問に答えよ。特に指定がない場合は、日本語で答えよ。

In their 1995 report *Integrity and Misconduct in Research*, the U.S. Department of Health and Human Services' Commission on Research Integrity (CRI) established as a point of departure "the fundamental principle that scientists be truthful and fair in the conduct of research and the dissemination of research results". This approach, however, does not adequately take into consideration the ambiguity inherent in the normal practice of science. (1)<u>As a consequence, the definition recommended by CRI is inappropriate and will add to rather than resolve what has been an ongoing controversy.</u>

Many examples of ambiguity in the day-to-day practice of research can be found in the writings of famous scientists. In her autobiography, Rita Levi-Montalcini tells of the discovery of nerve growth factor and refers to "(2)<u>the law of disregard of negative information</u> . . . (3)<u>facts that fit into a preconceived hypothesis attract attention, are singled out, and remembered. Facts that are contrary to it are disregarded, treated as exception, and forgotten".</u> No amount of science education can make clear the difference between facts to be remembered and facts to be ignored. Discovery means recognizing something when you don't know what it looks like. Although formal heuristic principles can be helpful in deciding what results might be seen as data, the final outcome will depend on an investigator's experience, intuition, and creative insight. To some, this selection process will appear arbitrary and self-serving.

Another example comes from François Jacob's autobiography. Writing of the summer that he and Sydney Brenner spent studying the "X" factor (messenger RNA), Jacob says: "But nothing worked. We had tremendous technical problems.... Full of energy and excitement, sure of the correctness of our hypothesis, we started our experiment over and over again". Most researchers believe in their hypotheses and don't give them up readily. Limited by time and money, investigators know that they will have few chances to make major discoveries during a lifetime of science and try to choose their hypotheses wisely. They also are prepared to fight for what they believe.

The same features that make a hypothesis exciting —novelty and unexpectedness— will cause peers to resist the idea because it contradicts prevailing beliefs. Overcoming this (4)resistance requires commitment in the face of skepticism and rejection. Being fair usually implies being impartial. In science, the community, not the individual, is the real source of impartiality.

A final example of ambiguity is the research paper itself. Jacob says, (5)"writing a paper is to substitute order for the disorder and agitation that animate life in the laboratory . . . to replace the real order of events and discoveries by what appears as the logical order, the (6)one that should have been followed if the conclusions were known from the start". The formal presentation of science as a historically reconstructed, self-consistent, logical process provoked Sir Peter Medawar to write his essay "Is the scientific paper a fraud?"

In their report *Responsible Science*, the National Research Council recognized the problem of ambiguity in a section on questionable research practices. They wrote: "The selective use of research data is another area where the boundary between fabrication and creative insight may not be obvious". By blurring the boundary between creative insight and scientific misconduct, ambiguity will frustrate any attempt to deal with misconduct through the application of fundamental principles. We need instead to begin with a narrow definition of misconduct based on conceptually unambiguous examples such as reporting experiments never carried out or reporting as one's own the published work of another. What makes these examples unambiguous is that they never are part of the normal practice of science, that a single performance of one of these actions is sufficient to indicate misconduct, and that the intent to deceive is implicit in the action itself. With such a narrow but clear definition in place, we will be able to more realistically assess cases in which ambiguity blurs the line. Unless we understand that (7)(_____) is an inherent feature of research, we may find the practice of science restricted in ways that make creative insight far more difficult.

(出典：F.Grinnell, *Science*, 1996 年, 272 巻, 5260 号)

（注） peer = 地位の同等な人。ここでは、「研究者」とか「研究者仲間」といった意味。
paper = 論文。

問１　筆者はなぜ下線部（１）のように考えるのかを１００字程度で述べよ。ただし、CRI という語を使う場合は CRI そのままで使ってよい。

問２　下線部（２）の the law of disregard of negative information は否定的な言い方であるが、むしろ別の面から見ると良いこととも考えられる場合がある。このような場合をわかりやすく説明した１文を探し出し、その文を原文に忠実に訳せ。

問３　下線部（３）を原文に忠実に訳せ。その際に、it が何を指すかがわかるように訳せ。

問４　なぜ下線部（４）のような resistance が起こるのかを５０字程度で述べよ。

問５　下線部（５）を原文に忠実に訳せ。

問６　下線部（６）の one とは何か。英単語１語で答えよ。

問７　下線部（７）に入る英単語１語を本文から探して答えよ。

問８　In their report で始まる最終段落を、今後どうしていけばよいかについての筆者の意見を中心に２００字程度で要約せよ。

問題 II　以下の文章を読んで、下線部分を英訳せよ。

ジョルジュ・サンドは職業作家である。なぜ、わざわざそんなことを言うのか、と思われるだろう。実は、ごく少数の例外を別にすれば、作家がペンだけで生活できるようになるのは十九世紀前半になってからのことなのである。なぜ、そうなのか？単純にそれまでは字の読める人が非常に少なかったからである。フランス革命が始まった頃自分の名前が書ける人は人口の三分の一ぐらいだった。名前が書けるからといって、文章が読めるとは限らない。文章が読めるからといって、本を読む習慣があるとは限らない。というわけで、十九世紀以前は、とても作家がペンだけで食べてゆけるものではなかった。フランス革命で身分制が否定され、誰もが教育を受ける権利を持つことになった。学校制度が少しずつ整備されてゆき、それにつれて字を読める人もふえていった。こうして、十九世紀前半になって、やっと一般読者層というものができあがったのである。ジョルジュ・サンドは、作家がペンだけで食べられるようになった第一世代に属する。

（出典：「二十世紀を変えた女たち」安達正勝著、白水社。一部変更）

（注）　フランス革命 = the French Revolution