１９９８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

複素解析関数のコーシーの積分定理を利用して、次の実変数関数の定積分を求めよ。
但し、$a > 0$ かつ $b > 0$ とする。

$$\int_0^\infty \frac{\cos ax}{x^2+b^2}dx$$

II

実数上の線型空間Vが, さらに次の公理を満たす時,Vを実計量線型空間という。

（公理）　Vの2元$\mathbf{x},\mathbf{y}$に対して, 内積と称する実数[これを$(\mathbf{x},\mathbf{y})$で表す]が定まり, 次の性質を持つ。(但し,cは実数。)

(i) $(\mathbf{x},\mathbf{y}_1+\mathbf{y}_2)=(\mathbf{x},\mathbf{y}_1)+(\mathbf{x},\mathbf{y}_2)$, $(\mathbf{x}_1+\mathbf{x}_2,\mathbf{y})=(\mathbf{x}_1,\mathbf{y})+(\mathbf{x}_2,\mathbf{y})$

(ii) $(c\mathbf{x},\mathbf{y})=c(\mathbf{x},\mathbf{y})$, $(\mathbf{x},c\mathbf{y})=c(\mathbf{x},\mathbf{y})$

(iii) $(\mathbf{x},\mathbf{y})=(\mathbf{y},\mathbf{x})$

(iv) $(\mathbf{x},\mathbf{x})$は0または正の実数で,$(\mathbf{x},\mathbf{x})=0$となるのは$\mathbf{x}=0$の時に限る。

問 1　n次以下の実係数多項式空間$\mathbf{P}_n(\mathbf{R})$は線型空間であるが, その任意の2元である多項式f,gに対して, 内積を$(f,g)=\int_{-1}^{1}f(x)g(x)dx$と定めると, この空間は実計量線型空間であることを示せ。

問 2　上記実計量線型空間$\mathbf{P}_n(\mathbf{R})$において, 多項式を具体的に

$$F_k(x)=\frac{d^k}{dx^k}(x^2-1)^k \qquad (k=0,1,....,n)$$

とおくと,$F_0,F_1,...,F_n$は,$\mathbf{P}_n(\mathbf{R})$の基底となる。これらの基底が, 互いに直交することを示せ。
（ヒント）$G_k(x)=(x^2-1)^k$とおくと、$F_k(x)=G_k^{(k)}(x)$（k階導関数）で、$i<k$なら、$G_k^{(i)}(1)=G_k^{(i)}(-1)=0$

III

次の文章を読んで，問１から問４に答えよ。

点Ｏにある質量Ｍの物体から万有引力を受けて運動する質量ｍの質点（ｍ≪Ｍ）の運動は，Ｏを原点とする平面極座標（ｒ，ϕ）を用いて，次の２つの式で表せる。

$$\ddot{r} - r\dot{\phi}^2 = -\frac{GM}{r^2} \qquad (1)$$

$$r^2\dot{\phi} = h = \text{const.} \qquad (2)$$

（１）式は，変数変換 $r=1/u$ を行うと，

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = \frac{GM}{h^2} \qquad (3)$$

となる。ここで（３）式の右辺を $1/\ell$ とおく。（３）式の積分によって，質点の軌道は

$$r = \frac{\ell}{1+e\cos\phi} \qquad (4)$$

と書ける。ここで e は積分定数である。

問１　パラメータ h, ℓ, e の意味を，楕円軌道の場合について説明せよ。

問２　（３）式から（４）式を導け。

問３　質点のエネルギーを，m, h, ℓ, e を用いて表せ。

問４　楕円軌道を描いて地球を周回する人工衛星を考える。近地点 $r = r_{min}$ において，速さを運動方向に δv だけ増加させたとする（$\delta v \ll v$）。遠地点 $r = r_{max}$ における軌道半径の変化を

$$\frac{\delta r_{max}}{r_{max}} = f(e)\frac{\delta v}{v}$$

の形で表すとき，$f(e)$ を求めよ。$e = 0.5$ の場合，１％の速さの変化に対して，r_{max} は何％変化するか。

IV

電子密度が n で，一様なプラズマ中の電磁波の伝播について考えよう。全体として中性で伝導電流の流れていないプラズマ中の Maxwell の方程式は

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

である。ここで,

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi \mathbf{P} = \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{H}$$

($\mathbf{P}$ は分極, εは誘電率) である。

問 1　Maxwell の方程式より, プラズマ中の電磁波伝播の式

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$

を導け。なお, 任意のベクトル $\mathbf{A}$ に対して $\nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A}$ である。

問 2　電磁波の電場を角振動数 ω の正弦波

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathrm{Re}[\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) e^{i\omega t}],$$

とし，電子の質量を m, 電荷を $-q$, 位置ベクトルを $\mathbf{r}$ とした時, 運動方程式は

$$m\ddot{\mathbf{r}} = -q\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$$

となる。この解のうち，$e^{i\omega t}$ に比例するような解，$\mathbf{r}(t)$ を求めよ。ここで, 変位 $\mathbf{r}(t)$ は, 電磁波の波長より, ずっと小さいものとし, 電子の熱運動は無視できるものとする。

問 3　電子の変位により, プラズマ中に双極子が多数生まれる。このことによる, プラズマの分極 $\mathbf{P}$, 誘電率εを求めよ。

問 4　電場を

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathrm{Re}[\mathbf{E}_{00} \exp(kx - i\omega t)]$$

としたとき, 電磁波の振動数ωと波数 k の関係を求めよ。

１９９８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　II

（ 200 点 ）

［　時間　　２　時間　］

注意　１．　問題は５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

$$\frac{dy}{dx}+\frac{(x-2)y}{x-x^2}+\frac{y^2}{x^2-x^3}=0$$

について次の問に答えよ。

問１　一つの特殊解 $y = u(x)$ が x の１次式であることがわかっている。この特殊解を求めよ。

問２　一般解を $y = u(x) + v(x)$ とおくことにより、この一般解を求めよ。

II

n モルの理想気体の状態方程式は, 圧力 P, 体積 V, 絶対温度 T, 気体定数 Rとして, $PV = nRT$とあらわされる。定圧モル比熱 C_P, 定積モル比熱 C_V(ともに一定とする) の間には $C_P - C_V = R$の関係がある。また, この気体の内部エネルギー Uは $U = nC_VT$と書ける。

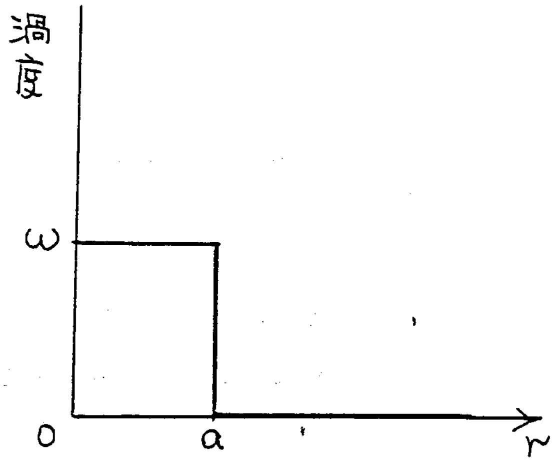
問 1　$\gamma = C_P/C_V$とするとき, 理想気体の準静的断熱過程においては PV^γ =一定となることを示せ。

問 2　この気体が初期状態 (T_1, V_1) から断熱的に真空中に膨張し, 容積 V_2に拡がったときの温度及びエントロピーの増分を求めよ。

III 無限に広がった非圧縮性・非粘性の完全流体中に，z軸方向に無限に長い，円柱状で軸対称の渦糸が静止している。湧き出しはない。

図に示すように，渦度は半径aより中で一定の値ωをとり，半径aより外ではゼロである。

円柱座標(r, θ, z)を用い，流れの関数を$\Psi(r)$とする。Ψと$\frac{d\Psi}{dr}$は$r=a$で連続であり，かつ$r=0$で$\Psi=\frac{d\Psi}{dr}=0$を満たす。湧き出しがないので速度vは



図．渦度の分布

$$v = \mathrm{rot}\, A$$

と書くことができる。ここで，ベクトルポテンシャルAはz成分のみを持ち

$$A = (A_r, A_\theta, A_z) = (0, 0, \Psi(r))$$

の形になる。

問1．速度vが回転速度成分のみを持つことを示せ。

さらに渦糸の中と外の回転速度の分布を求めよ。

必要ならば，公式

$$\mathrm{rot}\, a = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial a_z}{\partial \theta} - \frac{\partial a_\theta}{\partial z},\ \frac{\partial a_r}{\partial z} - \frac{\partial a_z}{\partial r},\ \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r a_\theta) - \frac{1}{r}\frac{\partial a_r}{\partial \theta} \right)$$

を用いよ。

問2. ベクトルポテンシャル $\boldsymbol{A}$ の代りに、二つの関数 λ と μ を用いて速度 $\boldsymbol{v}$ を

$$\boldsymbol{v} = \lambda \nabla \mu, \quad \text{ただし} \quad \mathrm{div}(\lambda \nabla \mu) = 0$$

のように表わせるとき、

$$\boldsymbol{\omega} = \nabla \lambda \times \nabla \mu$$

と書けることを示せ。

問3. 問1で求めた速度場に対して、$\lambda(r)$ と $\mu(\theta)$ のように変数分離を行うと、$\lambda(r)$ と $\mu(\theta)$ はそれぞれどのような物理量になるか。曲面 $\lambda =$ 一定と曲面 $\mu =$ 一定は渦系とどのような幾何学的関係にあるかを論ぜよ。

IV

固有値 E_n，規格直交化された固有ベクトル u_n $(n = 1, 2, \cdots,)$ をもつ定常ハミルトニアン H_0を考える。すなわち u_n^*を u_nの複素共役とすると

$$H_0 u_n = E_n u_n; \quad \int u_n^* u_k dV = \delta_{nk} \equiv \begin{cases} 1 & (n = k) \\ 0 & (n \neq k) \end{cases} \tag{1}$$

このハミルトニアン H_0に摂動 H'を与える。 このとき波動関数ψは

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi \equiv (H_0 + H')\psi \tag{2}$$

に従う。

問 1　ψを展開して

$$\psi = \sum_n a_n(t) u_n \exp\left(-\frac{iE_n t}{\hbar}\right) \tag{3}$$

と表すとき，$a_k(t)$ は次の微分方程式を満たすことを示せ。

$$\frac{da_k}{dt} = \frac{1}{i\hbar} \sum_n \langle k|H'|n\rangle \, a_n e^{i\omega_{kn} t} \quad (k \neq n) \tag{4}$$

ここで

$$\langle k|H'|n\rangle = \int u_k^* H' u_n dV, \quad \omega_{kn} \equiv (E_k - E_n)/\hbar \tag{5}$$

問 2　H'を$\lambda H'$(λは小さなパラメータ) でおきかえ，a_nを

$$a_n = a_n^{(0)} + \lambda a_n^{(1)} + \lambda^2 a_n^{(2)} + \cdots \tag{6}$$

と展開する。 これを (4) 式に代入し，$a_k^{(s)}$ $(s = 0, 1, \cdots)$ に対する漸化式を求めよ。

問 3　初期状態 m にある系に，$t = 0$ から一定時間 $(t_0 > 0)$ 周波数ωで振動する摂動 $H'(\propto \sin \omega t)$ を与える。 時刻 $t(\geq t_0)$ において，系がエネルギー $E_k(> E_m)$ をもつ状態 kに遷移している確率を振動数 $(\omega_{km} - \omega)$ の関数としてグラフに表し，その主ピークは $2\pi/t_0$程度の幅をもつことを示せ。(Hint: $\omega \approx \omega_{km}$として計算せよ。)

問 4　主ピークの振動数幅を，不確定性原理により説明せよ。

１９９８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Ⅲの選択者は別紙解答用紙（グラフ）にも受験番号と氏名を記入し，提出すること。
6．　問題用紙は持ち帰ること。

I

次の [A], [B] の文章を読んで，問 1 〜問 6 に答えよ．

[A] 通常の星には光度に上限がある．その 1 つの理由は，明るくなりすぎると，星自身から放出される輻射によって，星をつくるガスが吹き飛ばされるためである．静水圧平衡にある球対称で質量 M の星に許される光度の上限 $L_{\rm E}$ は

$$L_{\rm E} = \frac{4\pi GMc}{\kappa} \tag{1}$$

であることを次のようにして求めよう．なお，ここで，輻射とガスの相互作用は散乱過程のみであり，散乱係数は単位質量当たり一定値 κ であるとしている．以下でもこの仮定を使用する．また，G は重力定数であり，c は光の速さである．

問 1 ガス中を輻射が流れており，その輻射流束ベクトルを $\mathbf{F}$ とする．ガスは単位質量当たり

$$\frac{\kappa}{c}\,\mathbf{F}$$

の力を輻射から受けることを説明せよ．

問 2 上の結果を使って，静水圧平衡にある球対称で質量 M の星の光度 L の上限は式 (1) であることを示せ．

[B] 回転している質量 M の天体では，式 (1) で与えられる光度以上の光度でも質量放出せずに輝くことができる．それはどのような形状の場合であるかを，次のようにして調べよう．

問 3 外部重力場のもとで，回転している自己重力をもつ軸対称天体を考える．回転角速度は回転軸からの距離 r [距離ベクトルは $\mathbf{r}$] のみに依存するとする．天体の表面で質量放出が起こらないためには，表面 $\mathbf{R}$ での輻射流束ベクトルは以下で与えられる $\mathbf{F}_{\rm max}$ 以下でなければならないことを示せ．

$$\mathbf{F}_{\rm max}(\mathbf{r}) = \frac{c}{\kappa}\left(\nabla\psi - \Omega^2\mathbf{r}\right)_{\mathbf{R}}.$$

ここで，ψ は重力ポテンシャル，$\Omega(r)$ は回転角速度であり，下添え字 $\mathbf{R}$ は表面での値を示す．

問 4 天体に許される最大の光度 $L_{\rm max}$ は $\mathbf{F}_{\rm max}$ を天体の全表面にわたって積分したものであることを使って，

$$L_{\rm max} = L_{\rm E} - \frac{c}{\kappa}\int \Omega^2\mathbf{r}\cdot d\mathbf{s} \tag{2}$$

を示せ．ここで $d\mathbf{s}$ は面積要素で，積分は天体の全表面にわたって行う．

問 5 式 (2) より，

$$L_{\rm max} = L_{\rm E} + \frac{2c}{\kappa}\int(\sigma^2 - \omega^2)dV$$

となることを示せ．ここで，

$$\sigma = \frac{1}{2} r \frac{d\Omega}{dr}, \qquad \omega = \frac{1}{2r} \frac{dl}{dr}$$

で，$l(= r^2 \Omega)$ は単位質量当たりの角運動量である．また，dV は体積要素であり，積分は天体の全体積にわたって行う．

問 6 どのような形状をしている天体では，$L_{\rm max} > L_{\rm E}$ となることができるか．また，$L_{\rm max} > L_{\rm E}$ となる理由を述べよ．

II

太陽から放出される輻射強度の観測について考える。

図１の様に、太陽表面から、その法線nに対して角度θだけ傾いた方向pへ放出される波長λの輻射強度が、法線nのまわりに対称で、$I_\lambda(\theta)$であるとすれば、p方向の立体角 $d\omega$ へ、単位時間内に面積 $d\sigma$ を通って放出される単位波長当たりの輻射エネルギーは

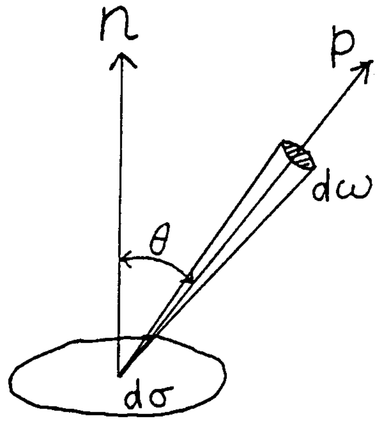


図１

$$dE_\lambda(\theta) = I_\lambda(\theta)\cdot d\sigma\cdot \cos\theta\cdot d\omega \qquad (A)$$

で与えられる。

今太陽から距離 R 離れた位置に置かれた望遠鏡で観測する時、地球大気や測定光学系の吸収や反射等によって受ける損失はすべて無視出来るものと仮定する。

問１　（A）式のエネルギーのうち、望遠鏡の有効面積 S のレンズ上に到達するエネルギー量 $e_\lambda(\theta)$ を測定することによって、輻射強度 $I_\lambda(\theta)$ を求める式を、距離 R を用いて表せ。

問２　太陽表面の単位面積から外向きの立体角2πへ、単位時間内に放出される単位波長当たりの輻射エネルギーはフラックス（F_λ）と呼ばれ、やはり（A）式から求められるが、$I_\lambda(\theta)$ がθによらず一定強度 $\bar{I}_\lambda$ である場合には、$F_\lambda = \pi \bar{I}_\lambda$ となることを示せ。

実際の太陽表面（図２）では、$I_\lambda(\theta)$ はθについて一定ではなく、可視光では、太陽面中心で最も明るく縁ほど暗くなる周縁減光が見られ、これを測定することによって、光球の温度構造を求めることが出来る。

図３の様に、光球内部の深さ z における単位体積当たりの放射係数、吸収係数をそれぞれ ε_λ、κ_λ とし、源泉関数を $S_\lambda = \varepsilon_\lambda / \kappa_\lambda$ とすると、$\mu = \cos\theta$ と置くことによって、光球表面から放出される輻射強度 $I_\lambda(\theta)$ は、

$$I_\lambda(\theta) \equiv I_\lambda(\mu) = \frac{1}{\mu}\int_0^\infty S_\lambda(\tau_\lambda)\exp\left(-\frac{\tau_\lambda}{\mu}\right)d\tau_\lambda \qquad (B)$$

と表される。　但し、τ_λ は光学的深さであり、

$$d\tau_\lambda = -\kappa_\lambda\, dz, \qquad \tau_\lambda(z) = \int_z^\infty \kappa_\lambda\, dz \qquad (C)$$

で定義される。

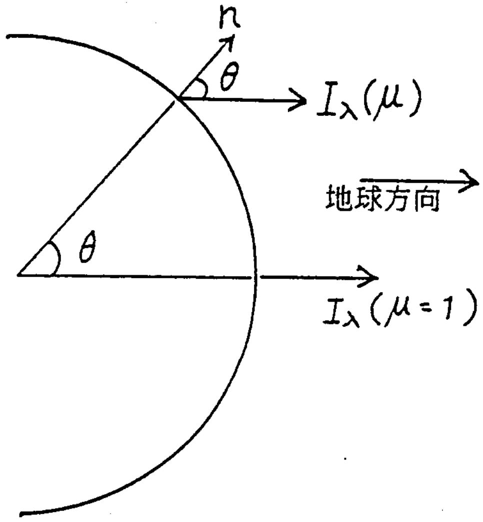


図2

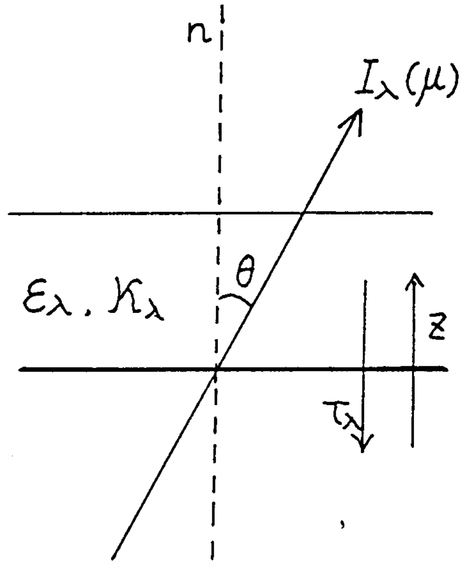


図3

問3　源泉関数が τ_λ の一次関数

$$S_\lambda(\tau_\lambda) = a_\lambda + b_\lambda \tau_\lambda \tag{D}$$

で表されるならば、

$$I_\lambda(\mu) = S_\lambda(\mu) \tag{E}$$

となることを示せ。

問4　前問の結果を用いれば、ある波長λにおける太陽表面の周縁減光を測定することによって、光球の光学的深さ τ_λ に対する温度変化を求めることができる。この方法の原理と手順を説明せよ。但し、光球では局所熱力学平衡が成り立っており、源泉関数はプランク関数で置き換えて良いとせよ。

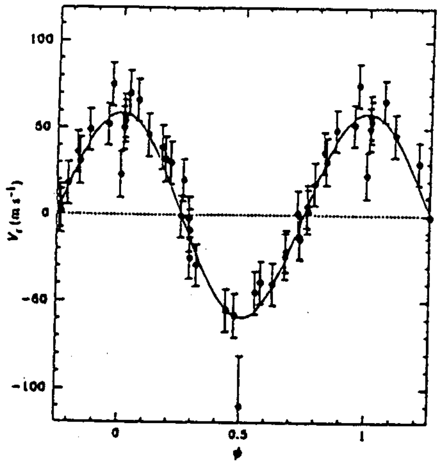
問5　前問の方法とは別に、太陽面中心の輻射強度 $I_\lambda(\mu=1)$ のみを、色々異なる波長領域で測定することによっても、光球の深さによる温度変化を求めることが出来る。この方法の原理と手順を、（E）式及び（C）式を用いて説明せよ。

16

III　太陽系外の恒星の周囲を公転する惑星の存在を観測的に確かめることは，天文学の歴史において長い課題であった。たとえばある研究者は，恒星の位置の時間変化を精密に観測することで，見えない惑星の存在を立証しようとした。

近年になって，恒星の観測者に対する運動（視線速度）に伴うドップラー効果を精密に測定する技術が進歩し，この問題に対する新しい手段を提供することとなった。そして１９９５年，ペガスス座５１番星の周期的な速度の「ふらつき」が発見され，その周囲に惑星の存在が報告されるに至った。図１はその観測結果である。縦軸が視線速度で，観測者から遠ざかる向きが正にとられている。横軸が観測された周期に対する位相で，観測者から遠ざかる速度が最大になる時点を$\phi=0$および１と定義してある。

図１



問１　太陽も太陽系最大の惑星である木星の公転によってふらつく。その速度の振幅を求めよ。

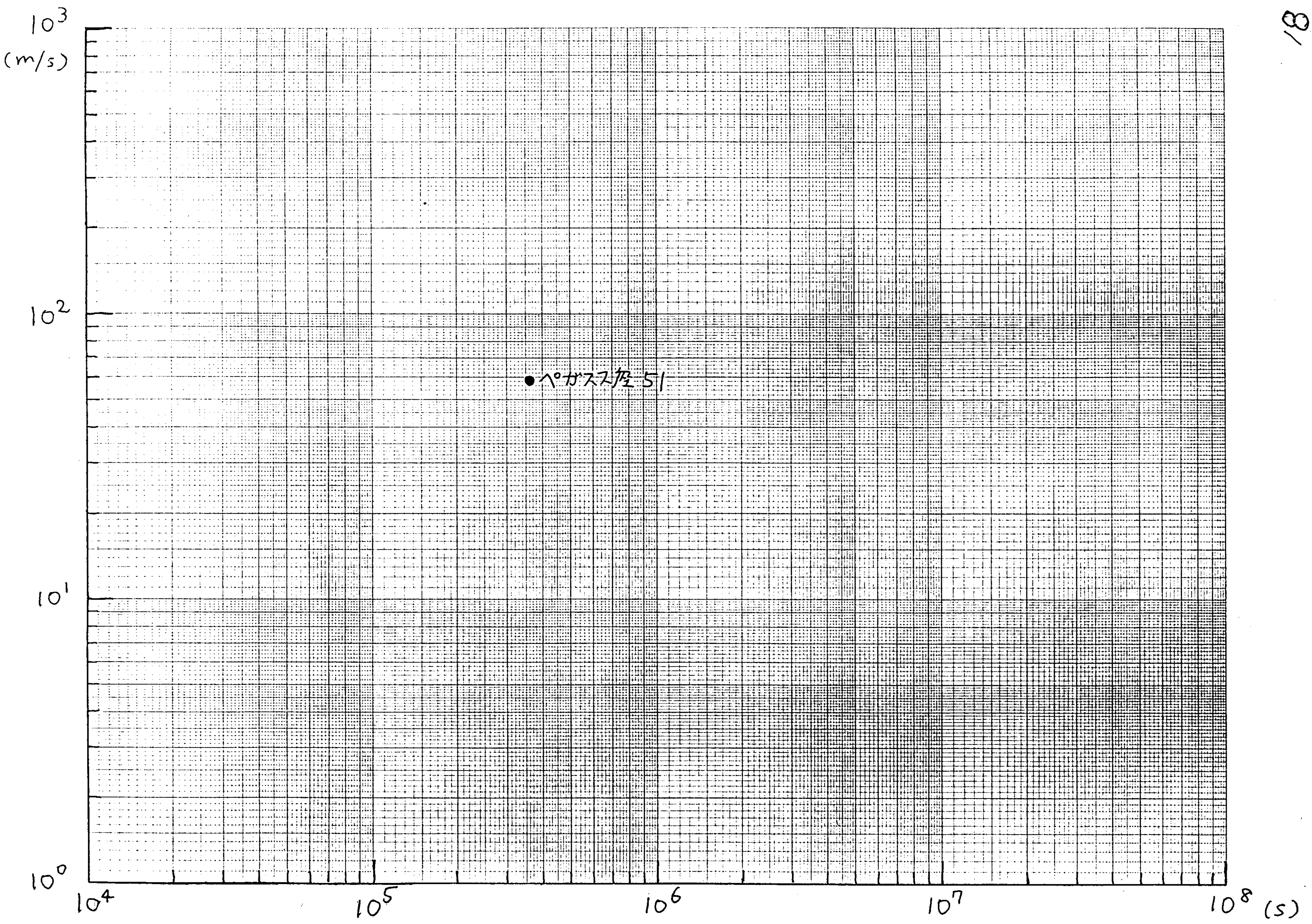
太陽と木星の質量比は１０００，太陽と木星の距離は7.8×10^{8} km，木星の公転周期は１２年＝3.7×10^{8}秒とせよ。

問２　ペガスス座５１番星では，４．２日＝3.7×10^{5}秒の周期で，観測者に対する星の速度が±５９ｍ／ｓの変動を示すことが観測された。この速度の変動が未知の惑星の引力によるものとすれば，その惑星とペガスス座５１番星の距離は木星・太陽間の距離の何倍と見積もられるか。またその質量は木星の何倍と見積もられるか。簡単のために惑星は円軌道を描き，その公転平面内に観測者（地球）が存在していると考える。また，ペガスス座５１番星の質量と半径は太陽と同じであるとせよ。

しかしながら，この星の速度の変化は惑星の引力の影響でなく，星の表面の振動，すなわち星が周期的に膨張・収縮（脈動）していると考えることでも説明できるとの反論がなされた。この反論について考えてみよう。

簡単のために，星は常に球形で，その半径が時間とともに正弦波的に変化していると考える。また，測定されている速度は，星の表面のなかでも観測者と星の中心を結ぶ線上の点（観測者からみて最も速度変化の振幅が大きい点）での速度と考える。

問３　この場合，ペガスス座５１番星の半径は最大・最小でどれだけ異なるか。また，観測されている速度の時間変化に対して，星の半径がどのように変化するか，図１に対応する形で図示せよ。



10^3
(m/s)
10^2
●ペガスス座51
10^1
10^0
10^4
10^5
10^6
10^7
10^8
(s)

容易に想像できるように，この半径の変化が星の半径を超えることは許されない。すなわち，もし計算された半径の変化が星の半径を超えるならば，恒星の球対称的な振動とする解釈はただちに棄却される。

問４　ペガスス座５１番星のような現象が太陽と同じ質量と半径を持つ他の恒星で観測されたとして，横軸に観測された周期（秒），縦軸に観測された速度変化の半振幅（ｍ／ｓ）をとって，この解釈（脈動説）が棄却される領域を解答用紙のグラフ上に図示せよ。

なお，太陽の半径は7.0×10^{5} ｋｍとせよ。

また，問２で求められたように，想定される惑星の恒星からの距離，惑星の質量の座標軸でとった場合はこの領域はどのようになるか。

星が脈動している場合には，その振動が星の明るさの変化として観測される場合がしばしばである。しかしながら，ペガスス座５１番星の場合は星の明るさの変化が０．３％以下であると報告されている。この情報を用いれば，脈動説に対して，より厳しい制限を課すことができる。

問５　単純化のために振動によって星の表面温度が変化しない，すなわち星の明るさはその表面積に比例すると考えてみる。星の明るさの変動が０．３％以下の場合，脈動説が棄却される領域を解答用紙のグラフ上に重ねて図示せよ（問４，問５の領域が区別できるようにグラフ上に明示すること）。

問６　この考察において，さまざまな単純化のための仮定が含まれている。ひとつの仮定を取り上げて，その仮定が満たされなかった時に問４や問５の結果はどのように変化するかを定性的に考察せよ。

１９９８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４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。

20

次の問題 I と問題 II に答えよ。

問題 I　以下の文章をよく読んで問いに答えよ。特に指定が無い場合は、日本語で答えよ。

①All astronomers speak about "going observing", but what does this mean? If you are an amateur enthusiast then it may mean going no further than your backyard or your local astronomy club to use a telescope to view your favourite objects. For professional astronomers, however, the phrase means much more. Implicit in the phrase ② is the fact that to understand the Universe we must observe it, and to do so we will need more than our human eyes, more than a telescope in the backyard. We will need all that modern electronic technology can offer. The largest ground-based telescopes in the world are located at relatively remote, pristine sites, high above sea level where the air is thin and the skies are astonishingly clear — so "going observing" can also mean going far away from home.

Access by professional astronomers to national ground-based optical/infrared observatories, as well as most university or privately owned facilities, is on a highly competitive basis. To obtain an allocation of "observing time" an astronomer must submit in writing a well-argued scientific case for permission to carry out his or her observational experiment. Deadline dates are set typically twice or three times per year. Selection is done by peer review, that is, by a committee formed from the body of scientists who actually use the facility. Unfortunately, all of the major telescopes are heavily oversubscribed, so ③disappointment is a fact of life. ④(　　) maximize the progress of scientific experiments at each facility, and to make the optimum use of weather conditions, the astronomical community world-wide is expending considerable effort on technology. As we shall see, this means highly automated observatories with much reliance on well-engineered instrumentation and computers, and it also implies new cost-effective solutions for the design and management of telescopes and measuring equipment.

Observing time on large telescopes is therefore difficult to obtain and is very valuable; it is important that no time be wasted. Also, since the telescope and instrumentation is quite complex, guest astronomers who may visit the observatory only twice per year cannot be expected to learn the myriad of operational details. To solve this problem all large observatories provide ⑤one or more highly trained personnel to support the visitor. Usually a Telescope Operator is provided; he or she will be responsible for control of the telescope and dome, ensuring efficient operation, keeping an observatory log-book and the preparation of observatory equipment. The telescope operator has the final word regarding safety matters such as closing the telescope dome if the wind speed becomes too high. Sometimes a Support Scientist, who is a professional research astronomer on the observatory staff familiar with the application of the instrumentation in question, is also available to assist first-time or irregular users of the observatory.

(中略)

⑥As the twilight fades and the sky becomes dark enough to commence work, the Telescope Operator will "call-up" the first object on the target list and a computer will instruct electrically driven motors on the telescope's rotation axes to move or slew to that position. Using a special TV-type camera at the focus of the telescope, the guest astronomer examines the field of view to confirm that the telescope is pointing at the object of interest — usually by reference to an existing star chart. Sometimes of course, nothing can be seen because the object(s) are too faint and ⑦require a long exposure; in the case the field must be confirmed by checking the pattern of brighter non-target objects in the vicinity. When the object is correctly centred, the observation begins. Having put the camera or spectrograph to the required settings by typing command words or letters into the "instrument" computer (rather than the telescope control computer), all that is required next is to issue a "start" command. ⑧The total time for which the measurement lasts is called the "integration time" and this may be anything from a fraction of a second to hours depending on the brightness of the object, the efficiency of the instrument plus detector, the wavelength, and the nature of the experiment. If the integration time is fairly long then it is essential to ensure that the telescope continues to track the object very accurately. （中略） When the exposure is complete the image or spectrum will be displayed on a computer screen, an adjustment to the setting of the instrument might be made and another exposure started. Meanwhile, some rapid analysis of the first result is undertaken using the observatory computing facilities. Analysis and display of the measurements the moment they are obtained is crucial to the optimum use of telescope time. The same pattern of work is used repeatedly throughout the night.

（出典：Electronic Imaging in Astronomy, I.S.McLean, Wiley）

（注） target list = 目的天体リスト

ground-based = 地上の

review = 批評、検査

問1　下線部①を２００字程度で要約せよ。

問2　下線部②の the phrase とは具体的に何を指すか。英語で答えよ。

問3　下線部③は、この文脈のなかで具体的にどういうことをいっているのか。

問4　下線部④に入る英単語１語は何か。

問5　下線部⑤に関して、highly trained personnel の例として具体的に２つ挙げよ。また、それぞれの役割を全て挙げよ。

問6　下線部⑥を原文に忠実に訳せ。

問7　下線部⑦の require に対する主語は何か。英語で答えよ。

問8　下線部⑧を原文に忠実に訳せ。

問題 II　次の文章は、ある研究者が、大学院生を含む若手研究者に向けて書いたエッセイ（タイトルは「自分で何かやってみよう」）の一部である。この研究者が、どのような経験をもとにどのようなことを若手研究者にすすめているかを、５０から１００語程度の英文でまとめよ。自分（I）が筆者になって、若手研究者（you）に対して言う、というスタイルで書いてもよい。

「今ではその天体力学でさえ、とても読みきれないほどの論文が発表されている。このような論文の洪水の中で、若い皆さんはどのようにして自分の研究を進めているのだろうか。

天体力学は古い学問であるので、昔からの立派な論文はたくさんあった。しかし、私の場合、余り多くの論文を読まないで、自分の研究を始めてしまった。

大学をでて二〜三年たって、土星の衛星の運動理論の精度の向上を図ったのだが、一年近くたって、かなり自信のある結果を求めることができた。そして調べてみると、二十年ほど前に同じような論文が発表されていることが分かった。このときはとてもがっかりしたが、その論文の著者は有名な学者だったので、その意味ではうれしかった。そこで、更に頑張って、理論をもう少し発展させることができた。今のような情報過多の時代にも、ある一定の時期、他の人の論文のことは気にせず、自分でやりたい仕事を手掛けてみたらどうかとよく考える。」

（出典：学術振興のすすめ（１）沢田敏男編 日本学術振興会）

（注）天体力学 = celestial mechanics

運動理論 = orbital theory