

大阪大学・大学院理学研究科
博士前期課程（宇宙地球科学専攻・第2次募集）入学試験問題
小論文
（2018年10月27日11時00分～12時30分）

次の〔1〕から〔4〕までの4問のうちから2問を選択して解答せよ。各問に指定された試験答案用紙の1枚のみを用い、解答を表面に記入しきれない場合には、裏面を使用しても良い。

[1]

図1に示す装置を用いて、地球以外の天体表面の重力環境を再現したい。地球表面での重力加速度を $g = 9.80 \text{ m s}^{-2}$ として以下の問いに答えよ。

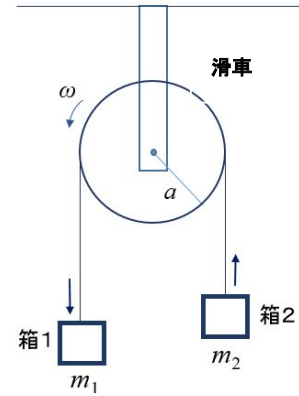


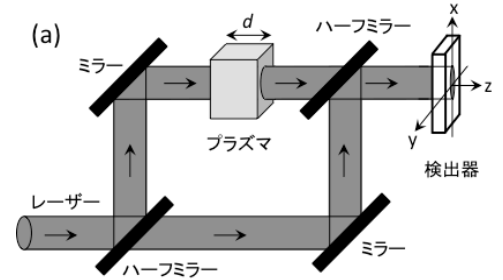
図1

- (1) 箱を滑車に繋がずに自由落下させた場合に、箱に固定した座標から容器内部の物体を観測すると、ほぼ無重力状態となる。その理由を説明せよ。
- (2) 動作中の箱1, 2および滑車の運動方程式を示せ。ただし箱1, 2の質量を m_1, m_2 とし、 m_1 は m_2 より大きいものとする。また滑車の質量、半径および慣性モーメントを M, a および $I (= \frac{1}{2} M a^2)$ とする。さらに箱1, 2に作用する糸の張力を S, T とし、滑車の角速度 ω は反時計回りを正の方向、滑車の軸は図のように固定されているとする。
- (3) 箱1, 2の加速度 α を、 m_1, m_2, M および g を用いて求めよ。
- (4) 箱に固定した座標から見たとき、箱1, 2内の物体の加速度は各々どうなるか、 g と α を用いて示せ。
- (5) この装置を用いて、月表面の重力 ($0.166g$) を1秒間再現したい。そのために必要な、箱の可動範囲および装置各部のパラメータに関する条件を決定せよ。
- (6) この装置を利用した、地球以外の天体表面における研究例を1つ考案せよ。さらに、その研究に重力がどう関係するか考察せよ。
- (7) 地上で行う微小重力実験では、地球の回転で発生する力の影響を考慮する必要がある。そこで上記の力の影響を調べる目的で、赤道表面から球を鉛直方向に高さ h まで打ち上げる。赤道面に xy 面を固定した直交座標から、打ち上げ直後に観察したときの、球に作用する力をすべて挙げ、各々の力の方向を解答用紙の図に記入せよ。空気抵抗は無視できるものとする。
- (8) (7)で打ち上げた球に作用する力の時間変化を導き、微小重力実験の実施中に考慮しなければならない事柄を議論せよ。ただし、 h は R に比べ十分小さく、球の水平方向の変位は十分小さいものとする。また、球の質量を m とし、その初期位置は、地球半径を R として、 $\mathbf{r}_0 = (0, R, 0)$ である。地球の自転の角速度ベクトルは $\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega_0)$ で表される。
- (9) 今回検討した装置は、観測から得られる、質量と重力に関するある事実を利用している。この事実とは何か。また、そこから見出された重要な理論について述べよ。
(全部で100字程度)

[2]

プラズマ中の電磁波の伝搬について考える。問題の最後に示した補足情報を参考にし、以下の問いに答えよ。

(1) 図 2(a) に示すような装置を真空中に設置した。そして、レーザーをハーフミラーで分割し、一方の光路を長さ d のプラズマ中を透過させ、もう一方の光路と再度重ね合わせることによって検出器上で干渉縞を得た。この干渉縞からプラズマ電子の数密度 n_0 を求めることができる。



(i) 図 2(b) は $n_0 = 0$ (真空) の場合の干渉縞を示す。 n_0 が一様 ($n_0 \neq 0$) なプラズマ中にレーザーを透過させた場合の干渉縞を解答用紙に図示し、真空の場合の干渉縞との位相差 $\Delta\phi$ を図中に示せ。

(ii) 上記の干渉縞の位相差 $\Delta\phi$ を、 k と k_0 を用いて表せ。

(iii) $\omega = \omega_p$ の場合の n_0 をカットオフ密度とよび、 n_c と表す。 $\omega^2 \gg \omega_p^2$ の場合、 $\Delta\phi$ を k_0 、 n_0 、 n_c 、 d を用いて示せ。 $\Delta \ll 1$ のとき、 $\sqrt{1-\Delta} \approx 1-\Delta/2$ の近似を用いても良い。

(iv) レーザーの波長が $1 \mu\text{m}$ 、 $\Delta\phi = \pi/2$ 、 $d = 1 \text{ mm}$ のとき、 n_0 を求めよ。波長が $1 \mu\text{m}$ のときに $n_c = 10^{27} \text{ m}^{-3}$ となることを用いても良い。

(v) n_0 が一様でない ($n_0 \neq 0$) プラズマ中を透過させた場合の干渉縞の例を図 2(c), (d) に示す。それぞれの干渉縞から想定される x 方向と y 方向の n_0 の分布を、解答用紙に図示せよ。

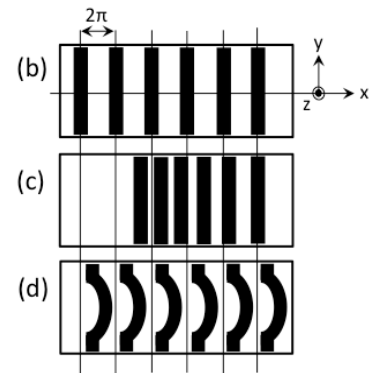


図 2(a) - (d)

(2) 図 2(e) に示すように、媒質 A と B における電磁波の屈折率 (= 光速 / 位相速度) をそれぞれ μ_A と μ_B 、媒質 A から媒質 B への入射角と媒質 A から媒質 B への屈折角をそれぞれ θ_A と θ_B とするとき、スネルの法則 $\frac{\sin \theta_A}{\sin \theta_B} = \frac{\mu_B}{\mu_A}$ が成立する。

(vi) $\mu_A < \mu_B$ のとき、媒質 B における、電磁波の波面、光線、 θ_B 、 λ_B を解答用紙に図示せよ。

- (vii) 図 2(f)に示すように、長さ d の円筒型のプラズマ中を、 $\omega > \omega_p$ の条件下で、レーザーが z 方向に伝搬する場合を考える。図 2(g)に示すように中心部の n_0 が周辺部よりも大きく、 z 方向には一様な場合、レーザーがプラズマ中をどのように伝搬するかを、解答用紙に光線と波面を図示して説明せよ。

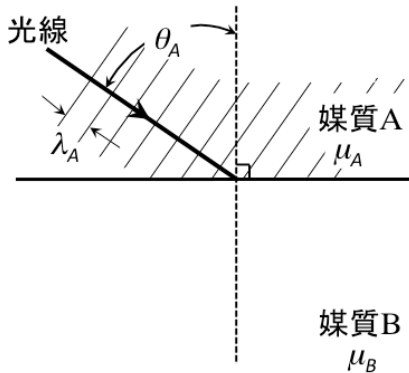


図 2(e)

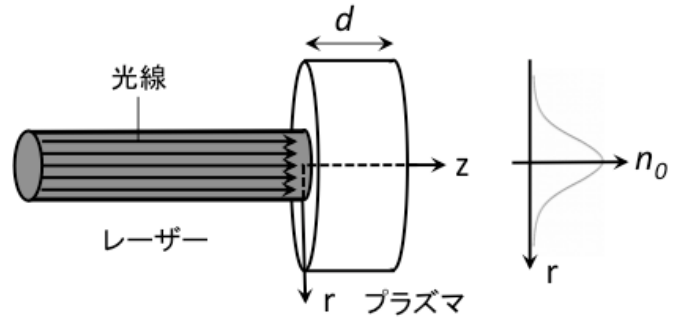


図 2(f)

図 2(g)

- (3) 地球大気の上層部のプラズマ化した領域を電離層と呼ぶ。電離層を活用して、地上から送信されたある周波数帯の電磁波を用いると、遠距離通信が可能である。その理由を説明せよ。また、この遠距離通信に最適な電磁波の周波数の範囲を示せ。プラズマ周波数 f_p [Hz] が $f_p = \omega_p / (2\pi) = 9 \times \sqrt{n_0}$ と表されることを用いてもよい。ただし、電離層におけるプラズマ電子の数密度が $n_0 = 10^{10} - 10^{12} \text{ m}^{-3}$ の範囲内にあるとし、電磁波の減衰および地磁気の影響を無視する。

補足情報

- ・プラズマ：電子と正イオンからなる電離気体
- ・レーザーの電界の強さ： $E = E_0 \exp[i(kz - \omega t)]$
レーザーの進行方向： z 軸，角周波数： ω ，波数： k ，複素振幅： E_0 ，虚数単位： i
- ・真空中のレーザーの分散関係： $\omega = ck_0$ ，光速： c ，真空中の波数： k_0
- ・プラズマ中のレーザーの分散関係： $\omega^2 = \omega_p^2 + c^2 k^2$ （レーザーで駆動される粒子は電子のみとする。）
プラズマ角周波数： $\omega_p = \sqrt{e^2 n_0 / \epsilon_0 m}$ ，
真空の誘電率： ϵ_0 ，電子の質量： m ，電子の電荷： $-e$ ，プラズマ電子の数密度： n_0
- ・ $\omega > \omega_p$ の時にレーザーはプラズマ中を透過することができる。
- ・電磁波が伝搬するとき、 ω は変化しない。

[3]

図3は我々の太陽系形成における標準モデルの概要を示している。以下の(1)–(14)より5問を選択し、解答用紙に選択した問題番号を明記し、それぞれ200字程で答えよ。

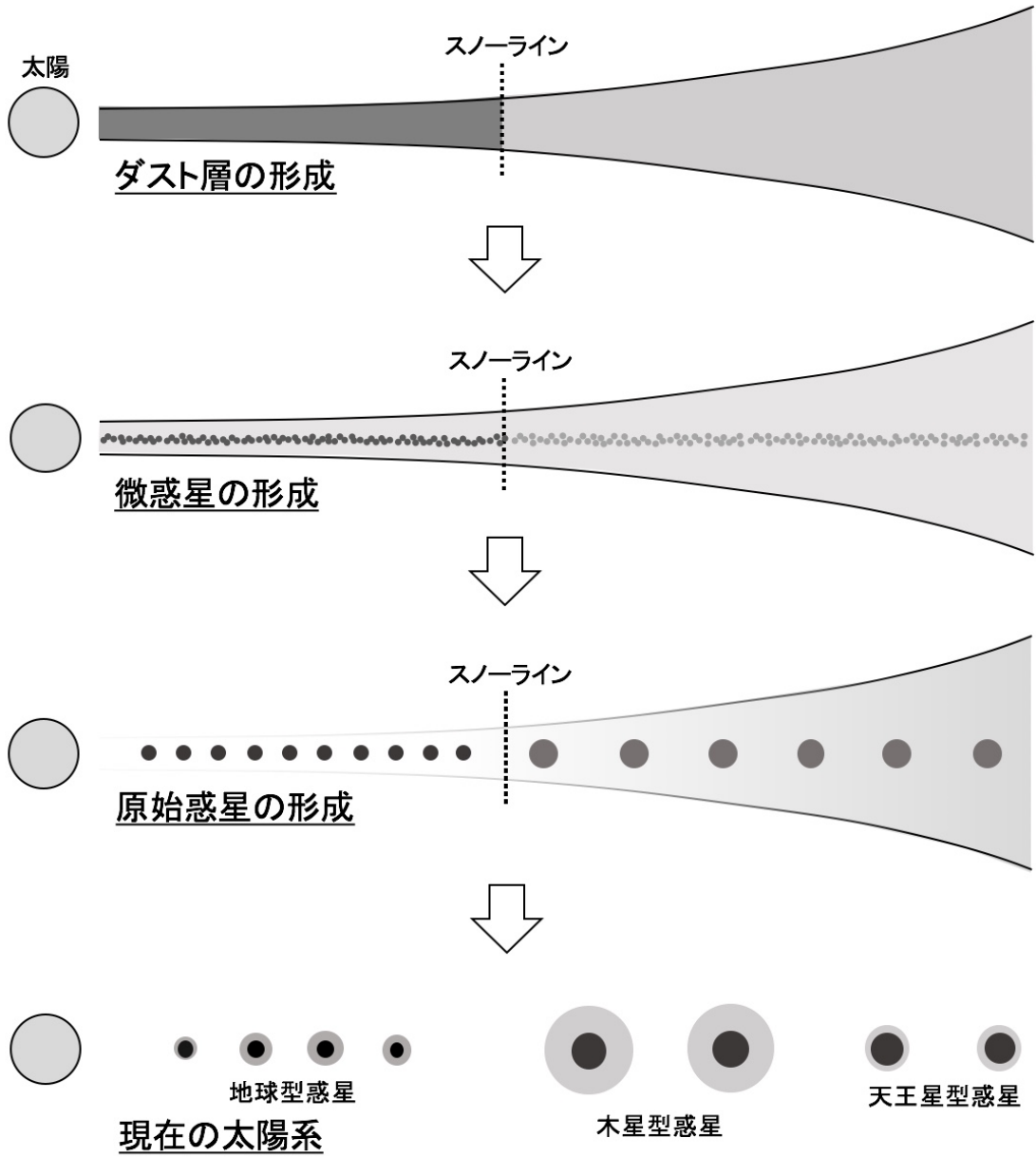


図3

- (1) 惑星の形成過程における「スノーライン（雪線）」の意味について説明せよ。
- (2) 微惑星形成期における「秩序的成長」，「暴走的成長」，「寡占的成長」について説明せよ。
- (3) 木星型惑星の形成に関し，標準モデルの問題点を，惑星の質量や形成のタイムスケールの観点から述べよ。
- (4) 形成直後の地球型惑星表層は，高温の岩石の海であるマグマオーシャンに覆われていたと考えられている。マグマオーシャンが形成される理由を述べよ。
- (5) 地球において生命活動が長期間にわたって継続されるためには，特定の条件が満たされる必要があると考えられる。この観点から他の地球型惑星と異なる特徴を2つ挙げて説明せよ。
- (6) 木星型惑星の氷衛星には，内部海を保持していると考えられる天体が見つまっている。形成時から長い時間が経つと，表面積と体積の比が大きい小型天体の内部温度は下がってしまうと考えられるが，内部海を保持できる理由について議論せよ。
- (7) 地球型惑星の中でも，水星，地球，火星などは岩石と金属の比率が大きく異なる傾向が見られる。その傾向の特徴を説明し，このように異なった比率になった理由に関して議論せよ。
- (8) 近年，相次いで発見されている系外惑星には岩石でできた惑星が多数含まれている。我々の太陽系の地球型惑星と比べ，これらの岩石惑星がどのような多様性を持っているかについて議論せよ。
- (9) 地球の衛星としての月の形成シナリオについて，複数の可能性を議論せよ。
- (10) 地球の形成期に月ができなかったとすると，地球のその後の進化過程はどのような影響を受けたと考えられるかについて議論せよ。
- (11) 地球の上部マントルの主要鉱物であるかんらん石が，下部マントルに至るまでにどのような相転移が起きるかについて説明せよ。また，これらの相転移は火星内部ではどのように起きるか，地球と比較して議論せよ。
- (12) 地球表層のプレートにみられる相対的な運動の概要について説明し，他の地球型天体の表層の運動についてその違いを議論せよ。
- (13) 惑星の金属核形成のためのいくつかの主要な素過程について，それぞれの特徴と形成のタイムスケールに関して議論せよ。
- (14) 現在の地球深部は 6000K 程の高温であると考えられる。形成から 46 億年経過してもこの温度が維持できている理由について議論せよ。

[4]

様々な波長の電磁波と物質との相互作用について、図 4 を参考にして考えてみよう。

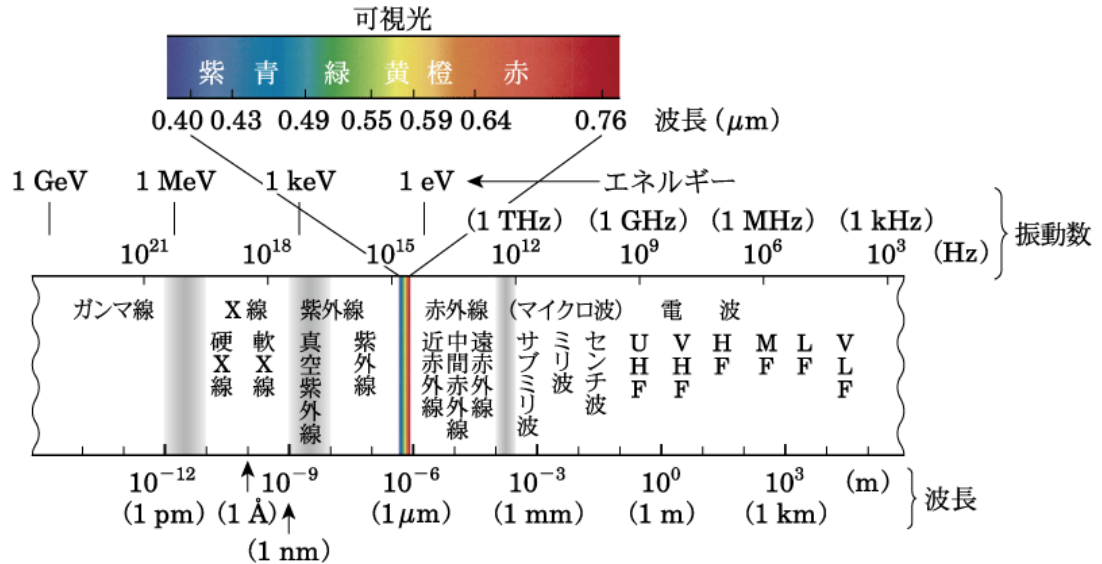


図 4 天文学辞典 (日本天文学会) より引用

(1) X 線を物質に照射すると、物質の様々な情報を得ることができる。(各々150字程度)

- ① X線回折の原理と、これを利用して得られる情報について説明せよ。
- ② 蛍光X線の発生する原理と、これを利用して得られる情報について説明せよ。
- ③ ②以外で、自然界や実験室におけるX線の発生機構の例を、2つ挙げて説明せよ。

(2) 物質による可視光の吸収に関して以下の問いに答えよ。

- ① とともに炭素の多形であるダイヤモンドとグラファイト (石墨) は、可視光に対する性質がまったく異なる。この理由を説明せよ。(100字程度)
- ② 鉱物は様々な色を持ち、宝石として珍重されるものもある。鉱物の色は光と原子、特に電子との様々な相互作用によって引き起こされる。この内、結晶中の欠陥や不純物に由来して色が発現している物質の例を示し、色の発現の理由を説明せよ。(200字程度)

(3) 一般に「紫外線を多く浴びるのは健康によくない」、また「遠赤外線では肉を焼くと内部まで火が通る」等と言われる。物質と電磁波の相互作用の観点から、紫外線と赤外線が物質に及ぼす影響の違いを説明せよ。(200字程度)

(4) 空港等において、非接触での体温測定に用いられる放射温度計の原理を説明せよ。(100字程度)