2018年度

Nb 物　理　問　題

注　意

1. 試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙はすべてＨＢの黒鉛筆またはＨＢの黒のシャープペンシルで記入することになっています。ＨＢの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。（万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。）
3. この問題冊子は16ページまでとなっています。試験開始後，ただちにページ数を確認してください。なお，問題番号はⅠ～Ⅳとなっています。
4. 解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので，出席票の受験番号が，あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し，出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお，出席票は切り離さないでください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し，その他の部分には何も書いてはいけません。
6. 解答用紙を折り曲げたり，破ったり，傷つけたりしないように注意してください。
7. 計算には，この問題冊子の余白部分を使ってください。
8. この問題冊子は持ち帰ってください。

マーク・センス法についての注意

マーク·センス法とは，鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。

1. マークは，下記の記入例のようにＨＢの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2. １つのマーク欄には１つしかマークしてはいけません。
3. 訂正する場合は消しゴムでよく消し，消しくずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例：（３と解答する場合）

Ⅰ．次の文A～Fの空所 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{き}}$ それぞれにあてはまる数式または数値を，解答用紙の所定欄にしるせ。

A．図1のように直線状の導線と面積 S の円形コイルがある。コイルは導線と同一平面上におかれ，コイルの中心と導線との間の距離を d とする。導線に流れる電流 $I(t)$ が時刻 t とともにゆっくりと増加し，$I(t) = at$ なる関係式で表されるとする。ここで，a は正の定数である。このとき，コイルに誘導される起電力の大きさは，a，S，d および真空の透磁率 μ_0 を用いて表すと $\boxed{\text{あ}}$ である。ただし，コイルの直径は d に比べて充分に小さく，コイルを貫く磁束 Φ は，コイルの中心での磁束密度 B を用いて，$\Phi = BS$ としてよい。

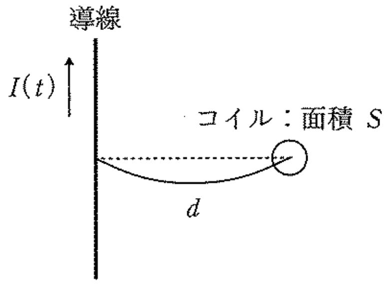


図1

B．圧力 p_0，温度 T_0 の大気中で，図2のような熱気球が上昇する条件を考える。ゴンドラの質量を M として，空気以外のその他の部分の質量は無視できるとする。気球内の加熱された空気は圧力 p_0，温度 αT_0（$\alpha > 1$）で，体積 V であるとする。大気中および気球内の空気は理想気体で，そのモル質量（1 mol あたりの質量）を μ とする。

気球によって押しのけられている体積 V の大気の物質量 n_0 は，気体定数 R および p_0，T_0，V を用いて表すと，$n_0 = \boxed{\text{い}}$ である。

気球が上昇するための M の必要十分条件は，μ，n_0，α を用いて，$M < \boxed{\text{う}}$ となる。

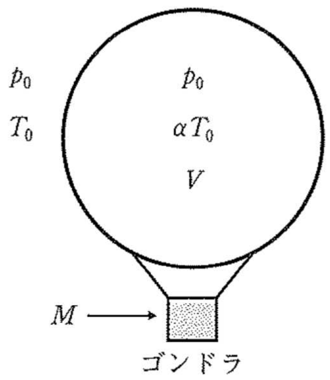


図2

C．n molの理想気体が温度 T_0，体積 V_0 の状態にある。この気体を断熱したまま温度 T_1，体積 V_1 の状態（状態1）に変化させた。この過程で気体が外部に対してした仕事をすべて熱に変え，状態1にある気体に体積を一定（V_1）に保ったまま与えると，気体の温度は $\boxed{\text{え}}$ となる。

D．X線管では，内部の陰極から飛び出した熱電子を高電圧 V で加速し，陽極の金属板に衝突させることでX線を発生させる。このとき，最短波長 $\lambda_0 = \dfrac{hc}{eV}$ より短い波長のX線は発生しない。ここで，h はプランク定数，c は光速，e は電気素量である。このようにして発生させたX線を，図3のように結晶の格子面に対して角度 $\theta = 30^\circ$ で入射させる。格子面の間隔が $d = 2.5 \times 10^{-10}$ m，X線の最短波長が $\lambda_0 = 2.0 \times 10^{-10}$ m であるとき，ブラッグ反射の条件を満たすX線の波長は，$\lambda = \boxed{\text{お}}$ m である。ただし，有効数字は2桁とする。

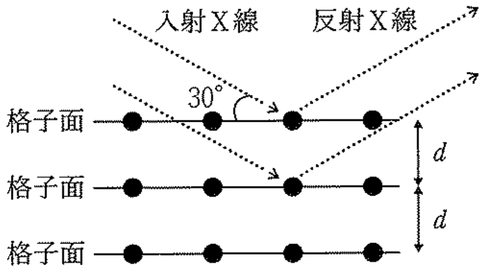


図3

E．ある惑星の衛星が，その惑星を中心とする半径 1.0×10^4 km の円軌道で運動し，その公転周期は 3.1×10^4 s であるとする。惑星は一様な密度をもつ球で，半径 4.0×10^3 km であるとする。惑星表面における重力加速度の大きさを有効数字1桁で求めると，$\boxed{\text{か}}$ m/s^2 である。ただし，衛星の質量は，惑星の質量に比べて充分に小さいものとする。

F．無重力空間で，離れた2つの宇宙船A，Bが1つの荷物のやり取りを行うことを考える。2つの宇宙船の質量はいずれも荷物の質量を除いて M であり，荷物の質量は m である。はじめ，2つの宇宙船は静止しており，荷物は宇宙船Aにある。宇宙船Aから宇宙船Bに向かって荷物を射出したところ，射出直後の宇宙船Aと荷物の相対速度の大きさは v であった。宇宙船Bが荷物を受け取った後，今度は宇宙船Bから宇宙船Aに向かって荷物を射出する。このときもまた，射出直後の宇宙船Bと荷物の相対速度の大きさは v であった。荷物と2つの宇宙船は常に同一直線上にあるとすると，荷物が宇宙船Aに到着する必要十分条件は，$\dfrac{M}{m} > \boxed{\text{き}}$ である。

Ⅱ. 次の文を読み，下記の設問1～3に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

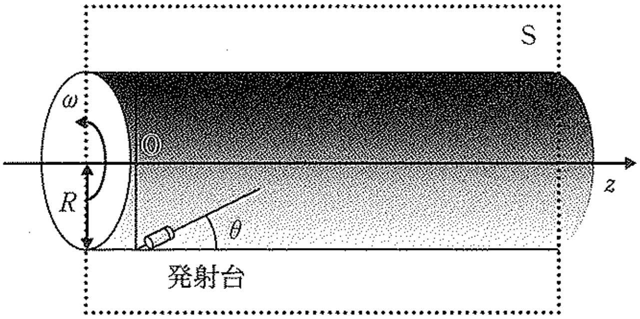
地上にボールの発射台があるとしよう。ボールは，発射台に対して初速度 v で地表面から水平となす角 θ の方向に発射される。以下の計算では発射台の大きさと大気の影響は無視できるとする。重力加速度の大きさを g とすると，ボールが発射されてから，地表面に着地するまでの時間は $t=$ $\boxed{\text{あ}}$ である。また，落下地点の発射台からの距離 r は $r=$ $\boxed{\text{い}}$ である。よく知られているように，初速度 v を固定し，発射角度 θ を変化させたときに距離 r が最大になるのは，$\theta=\dfrac{\pi}{4}$ のときである。

無重力空間で地上の重力を擬似的に再現しようとする試みの1つに遠心力を用いる方法が考えられる。今，無重力の宇宙空間に，半径 R の円筒形をした空洞の容器が，円筒の中心軸（z 軸）周りに一定の角速度 ω で回転している。容器の内壁上に固定されている観測者が受ける遠心力の大きさが地上の重力の大きさと一致するためには，$\omega=$ $\boxed{\text{う}}$ である必要がある。例えば，$R=1.0\times10^{5}\,\mathrm{m}$ とし，地上の重力加速度の大きさを $g=9.8\,\mathrm{m/s^2}$ とすると，円筒が一回転する時間 T は $T=$ $\boxed{\text{イ}}$ s であればよい。このような回転する円筒内での遠心力による擬似的な重力と地球上の重力の違いを調べるために以下の実験を考える。

図のように，容器の内壁にボールの発射台を設置し，発射台の z 座標を $z=0$ とする。z 軸を通る平面S上に発射軸があり，平面Sと円筒の交線から角度 θ で固定されている。今，時刻 $t=0$ に発射台からボールを発射台に対して初速度 v で発射した。このとき，容器の外側で静止している観測者から見たボールの速さ V は，円筒が回転している速度がボールの発射速度に合成されるため，$V=$ $\boxed{\text{え}}$ で与えられる。容器の外側で静止している観測者から見ると，発射後のボールには力が働かないため，ボールは速さ V で等速直線運動をする。発射されたボールが円筒の内壁に到着する時刻 t を求めるには，容器の外側で静止している観測者からみて速さ V で等速直線運動するボールが内壁にぶつかる時間を求めればよく，$t=$ $\boxed{\text{お}}$ となる。

もし，v が $R\omega$ に比べて非常に小さければ，容器の内壁上に固定されている観測者から見たボールの運動は地上でのボールの運動とよく似ていることがわかるので，遠心力を重力と擬似的にみなせる。しかし，v が $R\omega$ に比べて大きいと，中空でのボールの運動は地上でのボールの運動と異なってくる。これを見るために，以下では，$v=2R\omega$ としたボールの運動を調べる。このとき，ボールが内壁に到着した点の z 座標は $\theta=\dfrac{\pi}{4}$ のときには $z=$ $\boxed{\text{ロ}}$ で与えられるが，$\theta=\dfrac{\pi}{6}$ のときに得られる着地点の座標 $z=$ $\boxed{\text{ハ}}$ より小さい。すなわち，地上と異なり発射台の向いている z 方向の飛距離が角度 $\theta=\dfrac{\pi}{4}$

で最大にならない。このように，遠心力によって擬似的に再現された重力中でのボールの運動は地上でのボールの運動と比べて違いが見られる。



図

1．文中の空所 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{お}}$ それぞれにあてはまる数式をしるせ。

2．文中の空所 $\boxed{\text{イ}}$ にあてはまる数値としてもっとも適当なものを次の a ～ f から 1 つ選び，その記号をマークせよ。

a． 1×10^2　　b． 6×10^2　　c． 1×10^3

d． 6×10^3　　e． 1×10^4　　f． 6×10^4

3．文中の空所 $\boxed{\text{ロ}}$ ， $\boxed{\text{ハ}}$ にあてはまる数式の組としてもっとも適当なものを次の a ～ f から 1 つ選び，その記号をマークせよ。

a． $\boxed{\text{ロ}} = \dfrac{2}{3}R$， $\boxed{\text{ハ}} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}R$

b． $\boxed{\text{ロ}} = \dfrac{4}{3}R$， $\boxed{\text{ハ}} = \sqrt{3}R$

c． $\boxed{\text{ロ}} = \dfrac{\sqrt{2}}{2}R$， $\boxed{\text{ハ}} = \dfrac{3}{2}R$

d． $\boxed{\text{ロ}} = \sqrt{2}R$， $\boxed{\text{ハ}} = 3R$

e． $\boxed{\text{ロ}} = \dfrac{\sqrt{2}}{3}R$， $\boxed{\text{ハ}} = \dfrac{1}{2}R$

f． $\boxed{\text{ロ}} = \dfrac{2\sqrt{2}}{3}R$， $\boxed{\text{ハ}} = R$

【必要があれば，このページは計算用紙に使用してよい】

Ⅲ．次の文を読み，空所 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{か}}$ それぞれにあてはまる数式または数値を，解答用紙の所定欄にしるせ。

x 軸上（$x<0$）を速さ v_0 で x 軸の正の向きに等速直線運動をしている陽子（質量 m，電荷 e）がある。電場や磁場がかけられた領域A（$0 \leqq x \leqq d$）に，この陽子が進入した後の運動について考える。重力の影響は無視できるものとする。

1．図1のように領域Aに x 軸の正の向きに強さ E の一様な電場がある場合，$x=d$ における陽子の運動エネルギーは，$K=$ $\boxed{\text{あ}}$ である。

2．図2のように領域Aに y 軸の正の向きに強さ E の一様な電場がある場合，$x=d$ における陽子の y 座標は，$y_1=$ $\boxed{\text{い}}$ である。

3．図3のように領域Aに z 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場がある。まず，磁束密度が充分に大きく，陽子が $x=0$ に戻る場合を考える。戻ったときの $x=0$ での陽子の y 座標は，$y_2=$ $\boxed{\text{う}}$ である。次に，磁束密度が小さく，陽子の運動方向の変化が充分に小さい場合を考える。領域Aを通過後の陽子の運動方向の x 軸からの角度 θ は，$\theta=$ $\boxed{\text{え}}$ である。ただし，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いること。

次に，図4のように入射前の陽子の y 座標がいろいろな値をとる場合を考える。領域Aには z 軸の正の向きの磁場があり，その磁束密度 B は y 座標に依存し，$B=\dfrac{B_0}{L}(y+L)$ であるとする。ここで B_0，L は正の定数である。領域Aにおける陽子の運動の y 方向の変位は充分に小さく，陽子にかかる磁場の変化は無視できる。また，陽子の $x=0$ での y 座標と，$x=d$ における y 座標は等しいとみなしてよい。陽子は領域Aを通過後に，運動方向が x 軸方向からわずかに変化し，入射位置の y 座標によらずに，ある点を共通して通る。その点の x 座標は $\boxed{\text{お}}$ で，y 座標は $\boxed{\text{か}}$ である。

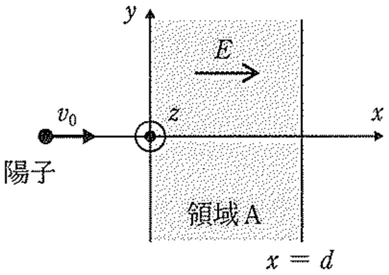


図1

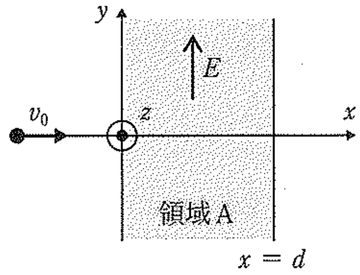


図2

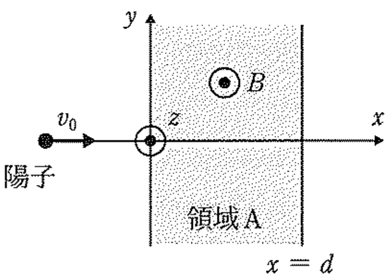


図3

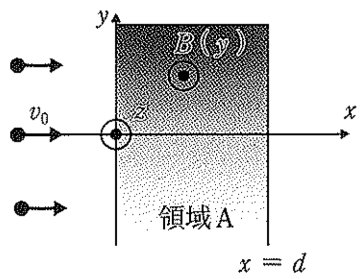


図4

Ⅳ. 次の文を読み，下記の設問１～５に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし，電気素量を e，プランク定数を h，静電気力に関するクーロンの法則の比例定数を k_0 とせよ。

水素原子は電荷 $+e$ の原子核と電荷 $-e$ の電子で構成されている。原子番号 Z の原子核（電荷 $+Ze$）のまわりに電子が１つしかないイオンのことを「水素様イオン」と呼ぶ。電子は原子核のまわりを等速円運動するものとして，ボーアの原子模型を使って水素様イオンについて考えてみよう。

原子番号 Z の水素様イオンにおいて，原子核のまわりを質量 m の電子が，大きさ $\boxed{\text{あ}}$ の静電気力を向心力として，半径 r，速さ v で等速円運動している。電子の定常状態では量子数 n（１以上の整数）を用いて，ボーアの量子条件 $mvr=\boxed{\text{い}}$ が成立する。これを用いると，量子数 n の電子の軌道半径は $r_n=\boxed{\text{う}}$ となる。

このように，電子の軌道半径は任意の値をとることはできず，とびとびの値をとる。電子の全エネルギー E_n は，運動エネルギーと，電子が原子核から充分に遠方にある場合を基準にした位置エネルギーの和で求められ，$E_n=\boxed{\text{え}}$ となり，やはりエネルギーもとびとびの値をとることがわかる。

ボーアの量子条件をド・ブロイ波長 λ を用いて書き換えると $2\pi r_n=\boxed{\text{お}}$ となり，これは電子を物質波と考えたときに電子の軌道上に定常波が安定に存在する条件と考えることができる。

原子番号２の He の水素様イオン He^{+} の $n=4$ の状態から $n=2$ の状態に移るときに放出される光のエネルギーは，水素原子の $n=2$ の状態から $n=1$ の状態に移るときに放出される光のエネルギーの $\boxed{\text{か}}$ 倍である。

1．　文中の空所 $\boxed{\text{あ}}$ にあてはまる数式を，r，m，e，Z，k_0 のうち必要なものを用いて表せ。

2．　文中の空所 $\boxed{\text{い}}$ ・ $\boxed{\text{う}}$ それぞれにあてはまる数式を，m，e，Z，k_0，h，n のうち必要なものを用いて表せ。

3．　文中の空所 $\boxed{\text{え}}$ にあてはまる数式を，e，Z，k_0，r_n のうち必要なものを用いて表せ。

4．　文中の空所 $\boxed{\text{お}}$ にあてはまる数式を，m，e，n，h，λ のうち必要なものを用いて表せ。

5．　文中の空所 $\boxed{\text{か}}$ にあてはまる数値を有効数字２桁でしるせ。

【以下余白】