

令和4年度 入学者選抜学力検査

(後期日程)

理科(物理)

山口大学理学部 化学科

注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、問題冊子および解答用紙の中を見てはいけません。
- 2 出願時に選択した科目の問題冊子が配られていることを確認してください。
- 3 配付物は、問題冊子1冊(1～7頁)、解答用紙4枚および下書用紙2枚です。
試験開始後、直ちに揃っているか確認してください。
- 4 問題1から問題4のすべてを解答してください。
- 5 解答は指定された解答用紙に横書きで記入してください。問題1と問題2の解答欄は、うら面にまで続いています。
- 6 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙や下書用紙の枚数の過不足や汚れ等に気がついた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
- 7 試験開始後、すべての解答用紙に氏名および受験番号を記入してください。
- 8 解答用紙はすべて回収します。
- 9 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

問題1 以下の問いに答えなさい。

等速円運動に関する以下の問いに答えなさい。図1は、質量 m の小物体が点 O を中心として半径 R 、角速度 ω で等速円運動しているようすを表しており、点 P と点 Q はそれぞれ時刻 0 と t における小物体の位置を表す。

(1) 図1を用いて、小物体の速さ v 、半径 R 、角速度 ω の関係を説明しなさい。必要であれば角度 ωt が十分に小さいとき、弦の長さ \overline{PQ} と円弧の長さ $R\omega t$ が等しいことを使ってよい。

(2) 等速円運動において小物体に働く力は円の中心に向かう方向を向いており、向心力と呼ばれる。横軸を速度の x 成分 v_x 、縦軸を速度の y 成分 v_y として図1と同様な図を速度 v に対して描き、向心力の大きさを小物体の質量 m 、半径 R 、角速度 ω を使って表しなさい。

(3) 経過時間 t が十分に小さいとき、小物体の変位 $\Delta \vec{r}$ は $\vec{v}t$ としてよい。このことを用いて、小物体が短い時間 t の間に向心力にされる仕事 W を求めなさい。さらに、なぜ力を受けているにも関わらず速さ v が一定なのか説明しなさい。

次に、惑星系を考える。図2は、恒星 A 、及びその周囲を公転する惑星 B で構成される惑星系を表したものである。この惑星系に関する以下の問いに答えなさい。万有引力定数を G 、円周率を π とする。

(4) 以下の文章の□に入る適切な式または数値を解答欄に記入しなさい。

恒星と惑星は万有引力で引き合っており、両者に働く力の大きさは恒星質量 M 、惑星質量 m 、恒星-惑星間の距離 R を使って□アと表される。万有引力を向心力として、恒星と惑星は同じ周期 T で、線分 AB 上にある点 O を中心に等速円運動しているとする(図2)。この時、距離 \overline{OA} と距離 \overline{OB} の比は $\overline{OA}:\overline{OB}=\square$ イとなる。

さらに、(2)の結果を万有引力の大きさと比較することにより、恒星-惑星間の距離 R は周期 T 、恒星質量 M 、惑星質量 m を用いて表せる。惑星質量 m は恒星質量 M に対して無視できるほど小さいとすると、その結果は□ウとなる。恒星の等速円運動の速さ v_A は□エと表される。

これらの結果を用いれば、恒星質量 M 、等速円運動の速さ v_A 、周期 T から、惑星質量 m と恒星-惑星間の距離 R が決定できる。恒星の質量が太陽の0.5倍(1×10^{30} kg)、速さ v_A が30 m/s、周期が4.6日(4×10^5 s)であるとき、惑星の質量 m と恒星-惑星間の距離 R はそれぞれ有効数字1桁で□オ kg、□カ mと求まる。ただし、 $2\pi G = 4 \times 10^{-10} \text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$ とする。この惑星は質量が木星程度で恒星の近くを公転しているため、ホット・ジュピターと呼ばれている。

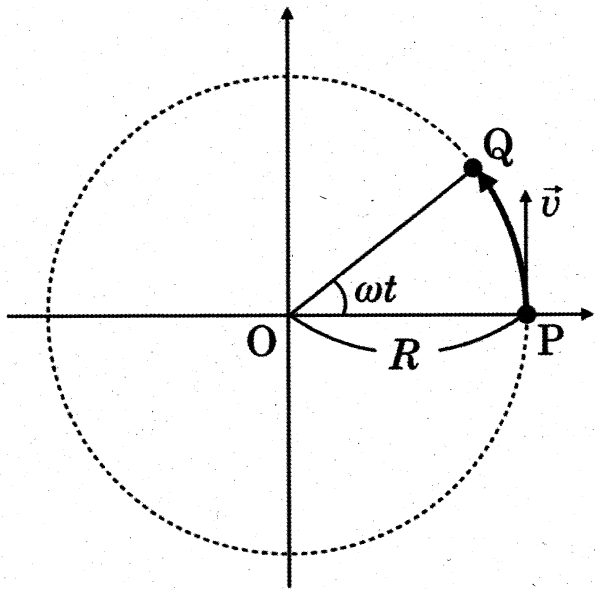


图 1

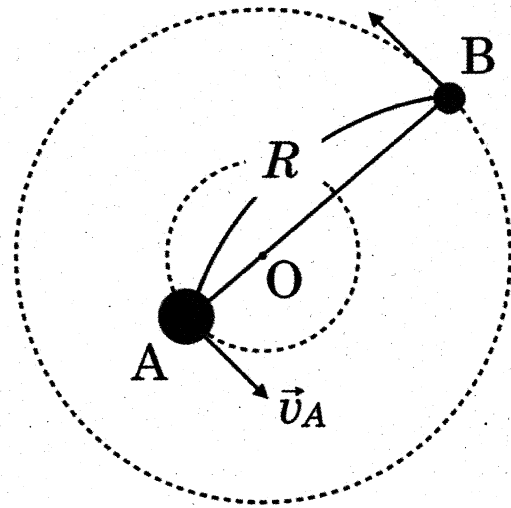


图 2

問題2 以下の問いに答えなさい。

図1のようなサイクロトロン加速器を考える。

中空の電極 A_1 , A_2 をわずかなギャップを開けて置き、それぞれの上に交流電圧 $V(t)$ を印加する。また両方の電極に紙面表から裏の向きへ磁束密度 B_0 の一様な磁場をかけてある。原点 O から紙面に平行な方向に射出された帯電した粒子は、磁場から力を受けて円軌道を描き、ギャップを横切るたびに加速され、軌道半径が大きくなっていく。電極の大きさは粒子の軌道に比べて十分大きいとする。ただし電極は静電遮蔽されているため内部の電場は0であり、粒子は外部電場の影響を一切受けず、ギャップ間に生じる電場のみから力を受けるものとする。

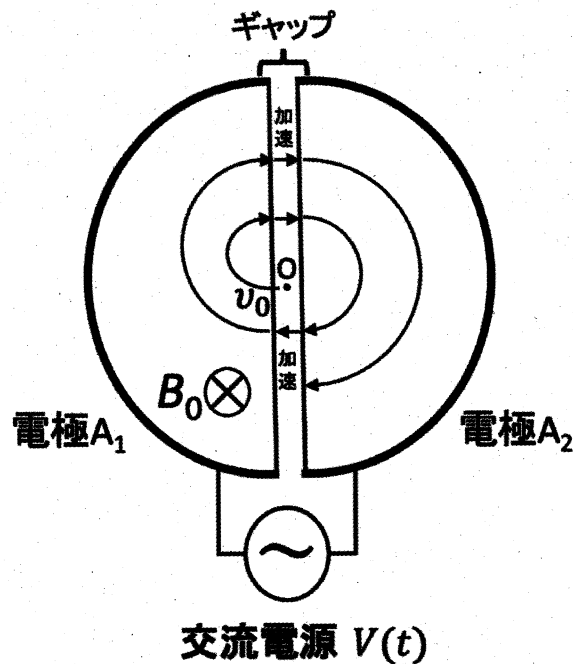


図1: サイクロトロン加速器の概念図

- (1) 点 O から電荷 q を持つ粒子を初速度 v_0 で A_1 側へ射出したとき、時計回りの円軌道を描いた。この粒子が持つ電荷の符号は正負のどちらであるか答えなさい。
- (2) 円軌道の半径が R となる初速度 v_0 を求めなさい。ただし粒子の質量を m とし、答えは q , R , B_0 , m を用いて表すこと。
- (3) この時 A_1 を半周して A_2 に入る時間を求めなさい。答えは q , B_0 , m を用いて表すこと。

交流電源の周期と粒子の円運動の周期を常に一致させ、粒子がギャップを横切る際に加速電圧が最大となるようにしながら粒子を繰り返し加速する。

- (4) 交流電圧の振幅を V_0 に固定したとき、半径が $2R$ に到達するまで加速するには何回転する必要があるかを求めなさい。答えは q , R , B_0 , m , V_0 を用いて表すこと。

半径が $2R$ になったときの粒子の速度を v_1 とする。今度は半径が一定となるように磁場の強さを変化させながらさらに粒子を加速することを考える。

- (5) ギャップを通過する際にエネルギーを受け取るため、粒子の速度は変化する。速度 v_1 でギャップを通過した際の速度変化 Δv を v_1 , q , V_0 , m を用いて表しなさい。ただし加速であることに注意すること。
- (6) 半径を $2R$ に維持するために必要な磁束密度の変化 ΔB は、 $\Delta v \ll v_1$ の条件下では v_1 に反比例する。この時の ΔB を R , V_0 , v_1 を用いて表しなさい。ただし(1)の結果に対して x が十分小さいとき、 $\sqrt{1+x}$ を $1 + \frac{1}{2}x$ と近似できることを利用して式を簡単にする

粒子が電極内部を半周するのに要する時間を T_1, T_2, T_3, \dots とし、そのたびに粒子を加速していく。ただし、交流電源の電圧を時刻 $t=0$ で 0 とし、電圧の振幅は V_0 で一定とする。

- (7) T_1 から T_6 までの交流電圧の概形として、最も適したものを図 2 の A, B, C, D から選び、その理由を説明しなさい。

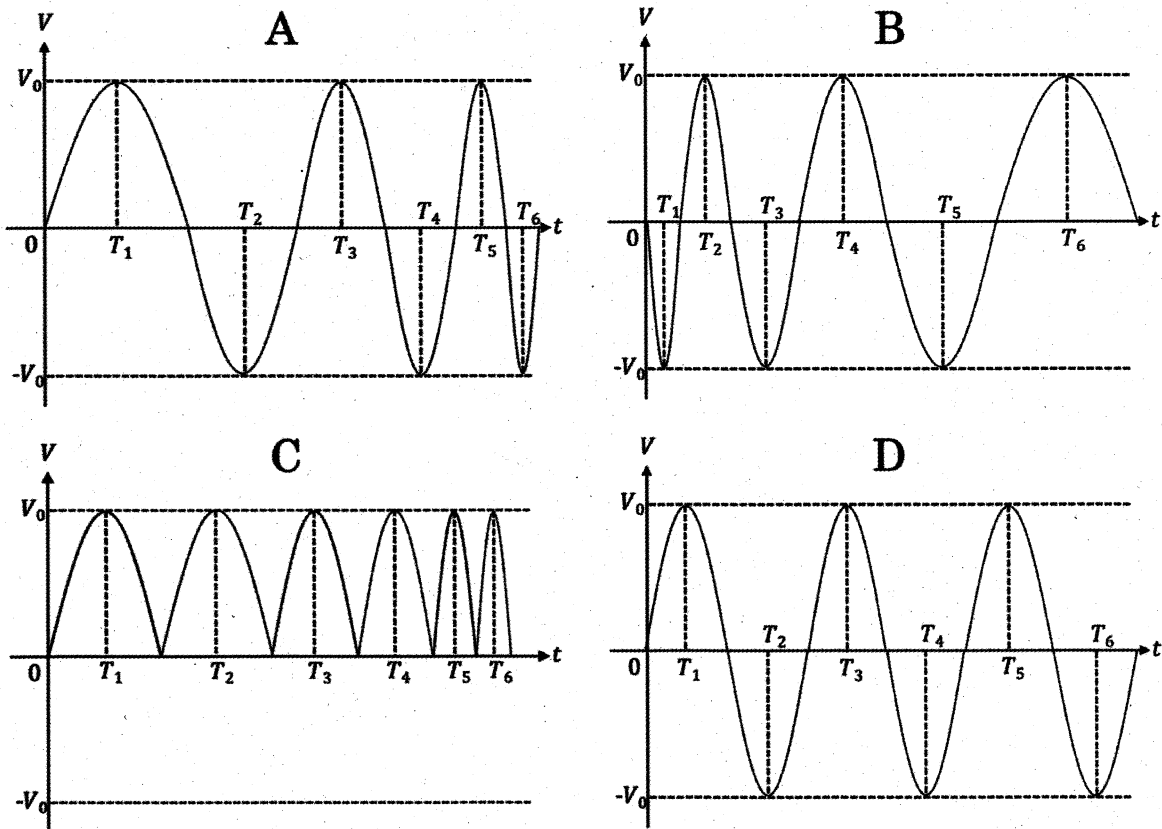


図 2: 電圧波形

問題3 以下の問いに答えなさい。

理想気体を用いた熱機関を考える。 n [mol] の理想気体は、圧力を p 、体積を V 、絶対温度を T 、気体定数を R としたとき、状態方程式 $pV = nRT$ に従うことが知られている。また、理想気体の内部エネルギーは $U = \frac{3}{2}nRT$ と書けることが知られている。さらに、理想気体は断熱変化において $pV^\gamma = (\text{一定})$ を満たすことが知られている (ポアソンの法則)。ただし、 γ はある定数である。

- (1) n [mol] の理想気体を図1のように $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と状態変化させる。点A, B, C, Dでの絶対温度をそれぞれ T_A, T_B, T_C, T_D とする。状態変化に関する以下の説明文(a)~(e)の文中の ア ~ セ の中に入る式または数値を答えなさい。ただし、式で答える場合は $n, R, V_1, V_2, T_A, T_B, T_C, T_D, \gamma$ のみを用いてよいとする。

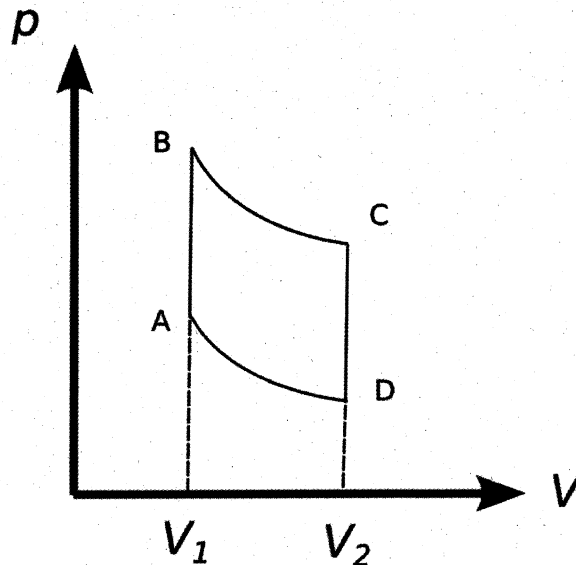


図 1

- (a) 状態変化 $A \rightarrow B$ は体積を V_1 とした定積変化である。この過程で気体が外部からされる仕事は $W_{A \rightarrow B} =$ ア である。また、気体の内部エネルギー変化は $\Delta U_{A \rightarrow B} =$ イ である。熱力学第一法則より、この過程で気体が外部から得た熱量は $Q_{A \rightarrow B} =$ ウ である。
- (b) 状態変化 $B \rightarrow C$ は断熱変化である。状態Bでの圧力は $p_B =$ エ である。また、状態Cでの圧力は $p_C =$ オ である。これらの圧力に対して、ポアソンの法則 $p_B V_1^\gamma = p_C V_2^\gamma$ が成り立つ。
- (c) 状態変化 $C \rightarrow D$ は体積を V_2 とした定積変化である。この過程で気体が外部からされる仕事は $W_{C \rightarrow D} =$ カ である。また、気体の内部エネルギー変化は $\Delta U_{C \rightarrow D} =$ キ である。熱力学第一法則より、この過程で気体が外部から得た熱量は $Q_{C \rightarrow D} =$ ク である。

- (d) 状態変化D→Aは断熱変化である。状態Dでの圧力は $p_D =$ である。また、状態Aでの圧力は $p_A =$ である。これらの圧力に対して、ポアソンの法則 $p_D V_2^\gamma = p_A V_1^\gamma$ が成り立つ。
- (e) このサイクルにおいて気体が吸収した熱量 Q_1 ($Q_1 > 0$)は $Q_1 =$ であり、放出した熱量 Q_2 ($Q_2 > 0$)は $Q_2 =$ である。気体はサイクルにより初めの状態Aに戻るの、サイクルを一周したときの内部エネルギー変化は $\Delta U =$ である。よって、このサイクルにおいて気体が外部に対して行う仕事は $W =$ である。
- (2) (1)の熱機関の熱効率 $\frac{W}{Q_1}$ を V_1 , V_2 , γ のみを用いて表しなさい。

問題4 以下の問いに答えなさい。

ウランやラジウムなどの の原子核は非常に不安定であり、放射線を出して他の原子核に変わる。したがって、 の原子核の数は時間とともに少なくなっていく。また、このように自然と放射線を出す性質を という。天然の から放出される放射線には3つの種類があり、それぞれ 、、 と呼ばれている。

残っている の原子核の数が、もとの数の半分になる時間を という。 のはじめの原子核の数を n_0 、 を T とすると、時間が t だけ経過したあとの同原子核の数 n は

式1

と表すことができる。

(1) 空欄 から に入る語句を答えなさい。

(2) 下線で引かれている現象を何と呼ぶか答えなさい。

(3) 式1に入る式を答えなさい。

(4) いま、2種類の である A および B をそれぞれ一定量用意し、約1ヶ月かけて観察をしたところ、A については観察開始時とほぼ同数の原子核が残っていた。一方、B については原子核の数がもとの数のおよそ16分の1にまで減っていた。A、B それぞれに対応すると思われるものを以下の表の中から選び、a~e の記号で答えなさい。

<input type="text" value="ア"/>	<input type="text" value="カ"/>
a. リン 32 (^{32}P)	約 14 日
b. ヨウ素 131 (^{131}I)	約 8 日
c. ラドン 222 (^{222}Rn)	約 4 日
d. フッ素 18 (^{18}F)	約 2 時間
e. セシウム 137 (^{137}Cs)	約 30 年