令和4年度入学者選抜試験問題

理学部 理学科
医学部 医学科

理　　科

（物　　理）

前　期　日　程

注　意　事　項

1　試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

2　この問題冊子の本文は1ページから7ページまでです。

3　試験中に問題冊子の印刷不鮮明・落丁・乱丁，解答用紙の汚れなどに気が付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

4　監督者の指示にしたがって，解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。**大学受験番号**が正しく記入されていない場合は，採点されないことがあります。

5　**理学部受験者**は **第1問**，**第2問**，**第3問**，**第4問** の **4問**を解答してください。
医学部受験者は **第1問**，**第2問**，**第3問** の **3問**を解答してください。

6　解答用紙の注意事項をよく読み，指示にしたがって解答してください。

7　問題を解く際の計算があれば，途中計算も解答用紙に書いてください。

8　試験終了後，問題冊子と下書き用紙は持ち帰ってください。

第1問　棒Aと棒Bが直角に固定されたL字型の棒（以下，L字棒という）がある。棒Aの長さを$3l$，棒Bの長さを$2l$とする。図1のようにL字棒に質量mの小球a，b，cを取り付ける。L字棒は，鉛直平面内を支点O周りに摩擦無しで回転できる。棒の質量は無視でき，また変形しないとする。空気抵抗は無視する。重力加速度の大きさをgとして，以下の問いに答えよ。

全ての小球を水平軸よりも下側にし，つり合い状態で静止させる（図1）。水平軸と棒Bのなす角度をθ_0とする。

問1　小球aに働く重力による支点O周りの力のモーメントの大きさを求めよ。

問2　小球bに働く重力による支点O周りの力のモーメントの大きさを求めよ。

問3　小球cに働く重力による支点O周りの力のモーメントの大きさを求めよ。

問4　角度θ_0を求めよ。

次に，図2の左図のようにL字棒の棒Bを水平軸に一致させ，静かにはなした。図2の右図は，ある瞬間のL字棒の様子をあらわしている。このときの水平軸と棒Bのなす角度をθ $(0 \leqq \theta < 2\pi)$とする。

問5　小球a，b，cの運動エネルギーの和をθをもちいて求めよ。

問6　運動エネルギーの和が最大となる角度θを求めよ。

問7　角度θの最大値を求めよ。

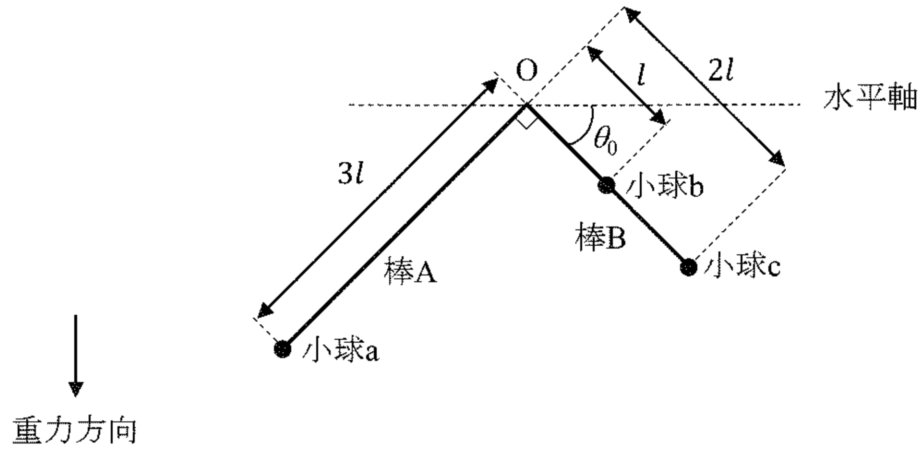

図1

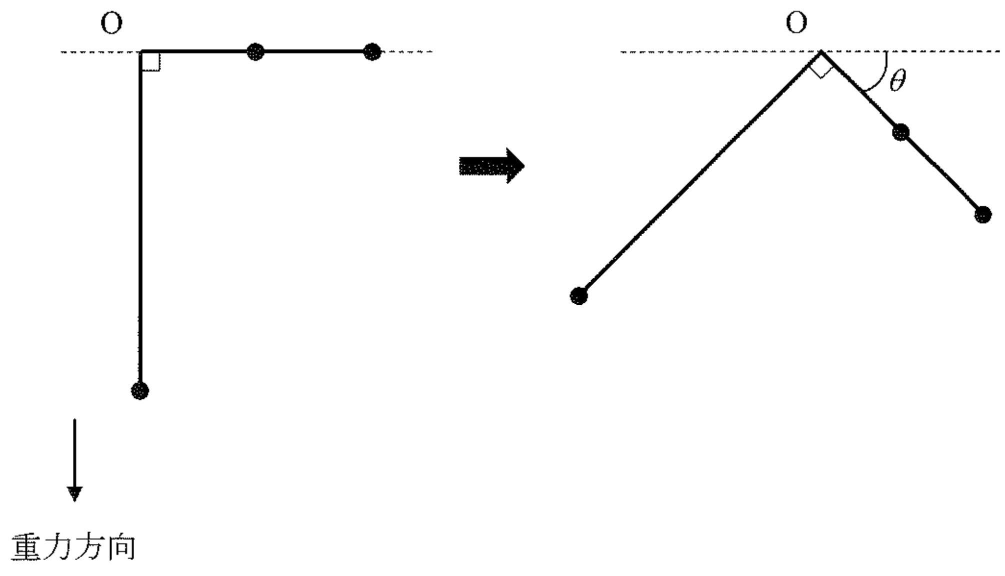

図2

第2問

問1 下の文章中の ア から エ に当てはまる適切な数式を答えよ。

磁束密度 B[T] の一様な磁場（磁界）の中に，質量 m[kg]，電荷 q[C] の粒子Aが，磁場に垂直に速さ v[m/s] で入射するとき，Aが磁場から受けるローレンツ力の大きさは ア [N] である。Aは磁場中で等速円運動するが，その半径は イ [m] であり，周期は ウ [s] である。同様に，Aと等しい電荷を持つ粒子Xを磁場中で等速円運動させたところ，その周期はAの周期の α 倍であった。Xの質量はAの質量の エ 倍である。

問2 下の文章中の オ から キ に当てはまる適切な数式を答え， あ と い には図1に示された矢印 (i)〜(vi) の中から適切なものを選べ。

図1のように x 軸に平行に置かれた長さ l[m] の導線PQを y 軸方向正の向きに一定の速さ v[m/s] で動かす。ただし，z 軸方向正の向きに磁束密度 B[T] の一様な磁場がかかっている。

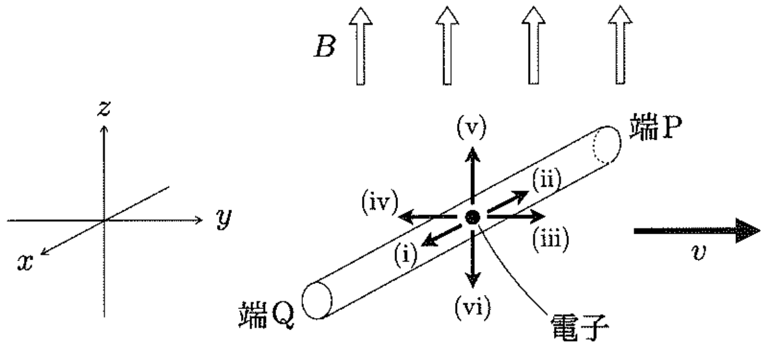

図1

電荷が $-e$[C]（e は電気素量）である導線中の電子が磁場から受けるローレンツ力の大きさは オ [N] で向きは あ である。この力により導線中で電子が移動すると導線の端Pと端Qが帯電し電場（電界）が作られる。電子がこの電場から受ける静電気力の向きは い である。移動した電子数が増すにつれこの静電気力は大きくなり，やがてローレンツ力とつりあって，導線中での電子の移動が終わる。このときの電場の強さは カ [N/C] であり，端Pを基準として端Qの電位は キ [V] である。

問3 下の文章中の う と え には図2に示された矢印 (i)〜(vi) の中から適切なものを，a と b には { 正，負 } のどちらか適切なものを選び，また ク に当てはまる適切な数式を答えよ。

図2のように導線のついた板状の試料（各辺の長さは l[m]，w[m]，d[m]）に y 軸方向正の向きに電流を流す。ただし，z 軸方向正の向きに磁束密度 B[T] の一様な磁場がかかっている。この試料のキャリアの電荷 q[C] は正である。

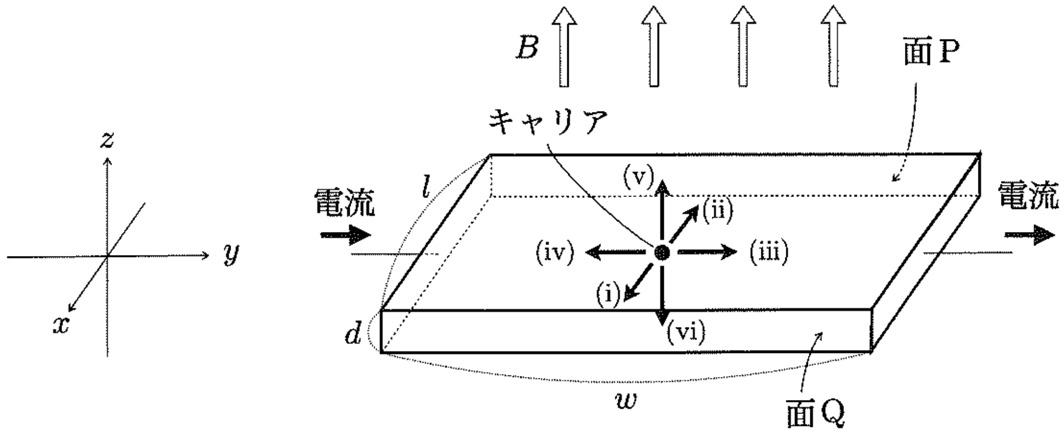

図2

キャリアが試料内を y 軸方向正の向きに移動すると，キャリアは磁場から $\boxed{\text{う}}$ の向きのローレンツ力を受けるので，試料の面 Q が [a] に，面 P が [b] に帯電する。その結果，試料内に電場が作られキャリアは電場から $\boxed{\text{え}}$ の向きの力を受ける。しばらくするとキャリアが磁場から受ける力と電場から受ける力がつりあい，キャリアは y 軸方向正の向きに一定の速さで直進する。その結果，試料に大きさ I[A] の電流が流れた。このときの面 P を基準とする面 Q の電位（ホール電圧）を V_H[V] とする。この試料中のキャリアの単位体積当たりの個数は $\boxed{\text{ク}}$ [個/m^3] である。

第3問　図1のように，円筒容器の内側に床面（水平）と平行なまま上下になめらかに動くふたが取りつけられ，単原子分子からなる理想気体が封じこめられている。円筒容器とふたは熱を全く通さず，熱交換器を作動させるときだけ気体は外部と熱をやり取りする。円筒容器とふたの厚さ，円筒容器内の熱交換器の体積は無視できる。ふたの質量と面積をそれぞれ m と S，外部の圧力を P_0，重力加速度の大きさを g とする。

ふたは床から高さ h_1 の位置にあり，気体の温度は T_1 であった。この状態を状態 I とする。熱交換器を作動させるとふたはゆっくりと下降し，熱交換器を停止させると床から高さ h_2 の位置で静止した。この状態を状態 II とする。 I→II の状態変化について，与えられた記号をもちいて以下の問いに答えよ。

問1　状態 II での気体の温度を求めよ。

問2　I→II の状態変化において，気体が外部にした仕事，気体の内部のエネルギー変化，気体が吸収した熱量，を求めよ。

再び熱交換器を作動させ，しばらくしてから停止させたところ状態 I に戻った。その後，図2のように，ふたに質量 M のおもりを静かにのせるとふたはゆっくりと下降し，やがて床から高さ h_3 の位置で静止した。この状態を状態 III とする。この I→III の状態変化について，与えられた記号をもちいて以下の問いに答えよ。

問3　I→III の状態変化において，気体が吸収した熱量，気体の内部エネルギーの変化，気体が外部にした仕事，を求めよ。

問4　気体の体積と温度をそれぞれ V と T とすると，I→III の状態変化では $TV^{\gamma-1}$ が一定になる。この関係を使って状態 III での気体の温度を求めよ。γ は比熱比と呼ばれる定数である。

問5　h_3 をもちいて h_1 を表せ。

I→II と I→III の状態変化において体積変化は非常に小さく h_2 と h_3 は等しいとする。このとき，I→III の状態変化における気体の圧力変化は非常に小さく，2つの状態変化において気体が外部にした仕事は等しい。以下の問いに答えよ。

問6　γ の値を求めよ。なお，$|x| \ll 1$ の場合には $(1+x)^{\alpha} \fallingdotseq 1+\alpha x$ が成り立つ。

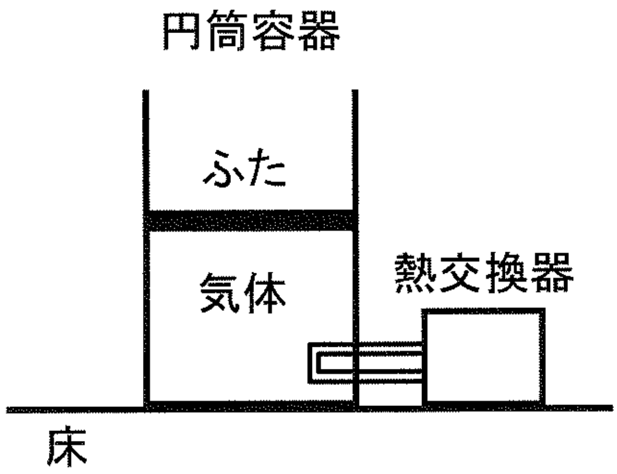

図1

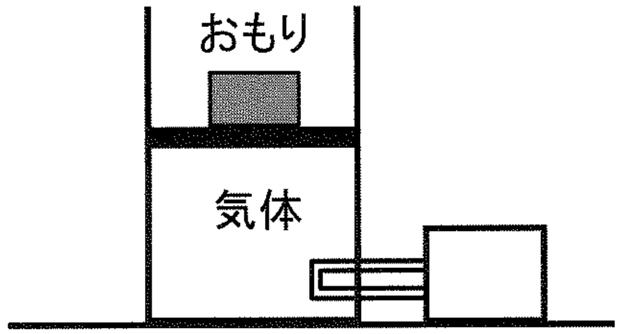

図2

第4問 以下の文章を読み，$\boxed{\text{ア}}$ から $\boxed{\text{ク}}$ に当てはまる適切な数式，もしくは数字を答えよ。ただし，クーロンの法則の比例定数を $k[\mathrm{N \cdot m^2/C^2}]$，電子の質量を $m[\mathrm{kg}]$，電子の電荷を $-e[\mathrm{C}]$（e は電気素量），光の速さを $c[\mathrm{m/s}]$，プランク定数を $h[\mathrm{J \cdot s}]$ とする。

He^+，Li^{2+}，Be^{3+}，B^{4+}，C^{5+} のように原子核と1個の電子からなる原子を水素類似原子と呼ぶ。ここでは，電荷 $+Ze$ を持つ原子核（原子番号 Z）と1個の電子から構成される原子を考える。原子内の電子は，静電気力を向心力として，原子核を中心に半径 $r[\mathrm{m}]$ の等速円運動をしていると考える。このとき，電子のエネルギー $E[\mathrm{J}]$ は，電子の運動エネルギーと電子と原子核の間にはたらく静電気力の位置エネルギーの和になる。ここで，電子の位置エネルギーは，無限遠を基準としたとき，$-k\dfrac{Ze^2}{r}[\mathrm{J}]$ と表される。E は k，r，Z，e をもちいて $\boxed{\text{ア}}$ $[\mathrm{J}]$ と表せる。

電子は粒子としての性質だけでなく波としての性質も持つ。電子の速さが $v[\mathrm{m/s}]$ のときの電子波の波長は $\boxed{\text{イ}}$ $[\mathrm{m}]$ と表せる。電子の軌道の円周の長さが電子波の波長の n 倍（n は正の整数）のときだけ電子波は定常波になり，

$$2\pi r = n \times \boxed{\text{イ}} \tag{1}$$

という関係が成立する。ここで n は量子数と呼ばれる。(1) を満たす電子の状態を定常状態という。このときの半径 r を m，Z，e，k，n，h をもちいて表すと $\boxed{\text{ウ}}$ $[\mathrm{m}]$ となる。これを $\boxed{\text{ア}}$ に代入することにより，量子数 n の定常状態のエネルギー E_n は m，Z，e，k，n，h をもちいて $\boxed{\text{エ}}$ $[\mathrm{J}]$ と表される。

電子が量子数 n の定常状態から別の量子数 n' の定常状態に移るとき，光を吸収または放出する。そのときの光の波長を $\lambda[\mathrm{m}]$ とすると

$$|E_n - E_{n'}| = \frac{hc}{\lambda} \tag{2}$$

の関係式が成り立つ。以上のことから，電子が量子数 $\boxed{\text{オ}}$ の定常状態から量子数1の定常状態（基底状態）に移るときに，放出される光の波長が最も長くなることがわかる。また，基底状態にある電子を無限遠に取り去るためには，$\boxed{\text{カ}}$ $[\mathrm{m}]$ より短い波長の光を吸収しなければならないこともわかる。さらに，Li^{2+}（$Z=3$）の場合，電子が量子数6の定常状態から量子数3の定常状態に移る際に放出される光の波長が，水素原子（$Z=1$）の電子が量子数 $\boxed{\text{キ}}$ の定常状態から量子数 $\boxed{\text{ク}}$ の定常状態に移る際に放出される光の波長に等しいことも理解できる。