令和６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　図に示すように，水平面から角度 $\theta\,(0^\circ < \theta < 90^\circ)$ だけ傾いたなめらかな斜面を持つ台OABが，水平面上に固定されている。斜面OAに沿って質量 M の物体１が矢印の向きに運動し，高さ h_0 の位置を速さ v_0 で通過した後，高さ h_1 の点Aから空中に飛び出した。やがて，物体１は最高到達点Cに到達し，その瞬間に内部の少量の火薬の爆発によって水平方向に２つに分裂した。分裂したときの左側の物体をL，右側の物体をRとよぶことにする。分裂後に物体LおよびRは雲に隠れてしまい，運動を追跡することはできなかった。その後の捜索によって物体Lは発見され，点Cの真下にある水平面上の点C′よりも右側の点Dに着地したことがわかった。点C′から点Dまでの距離は d であり，物体Lの質量は m であった。物体Rはまだ見つかっていない。物体LおよびRが雲に隠れている間に分裂や雲を含む他の物体との衝突は起こらなかったと仮定して，物体Rの着地点Eの位置を推定したい。物体１，物体L，物体Rの大きさと空気抵抗，および火薬の質量は無視できるとする。また，すべての物体は紙面内で運動するとし，重力加速度の大きさは g とする。以下の問いに答えよ。

問１　物体１が点Aを通過するときの速度の水平成分と鉛直成分の大きさをそれぞれ求めよ。

問２　物体１の最高到達点Cの水平面からの高さを求めよ。

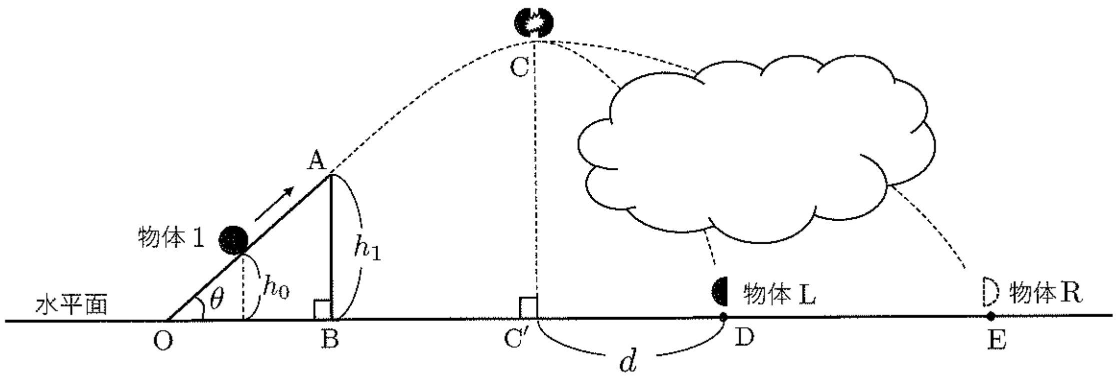
問３　物体Lが点Cから点Dに落下するまでの時間を求めよ。

以下では，物体１が点Aを通過するときの速度の水平成分の大きさを v_x，物体Lが点Cから点Dに落下するまでの時間を T とし，問いに答えよ。

問４　分裂直後の物体Lの速さを求めよ。

問５　分裂直後の物体Rの速さを求めよ。

問６　点Dと点Eの間の距離を求めよ。



図

第2問 一辺の長さ L の正方形の導体板2枚からなる平行板コンデンサーが真空中に置かれている。2枚の導体板の間隔は d である。平行板コンデンサー，電池およびスイッチを導線で直列につないで電気回路を作り，手順1から手順4で平行板コンデンサーを充電する。以下の問いに答えよ。なお，平行板コンデンサーの端における電場の乱れや極板と誘電体の間の摩擦は無視し，真空の誘電率を ε_0 とする。

手順1 スイッチを閉じて十分に時間が経過した（図1）。平行板コンデンサーには電荷 Q_0 が蓄えられていた。

問1 平行板コンデンサーの電気容量，平行板コンデンサーの極板間の電位差と電場の強さを求めよ。

問2 平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを求めよ。

手順2 スイッチを開いた後，平行板コンデンサーの極板間に誘電体（誘電率 ε）を外力を加えながらゆっくりと挿入し，極板間の右半分を誘電体で隙間なく満たして固定した（図2）。

問3 平行板コンデンサーの電気容量を求めよ。

問4 平行板コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーを求めよ。

手順3 平行板コンデンサーの極板間に挿入した誘電体を固定したまま，再びスイッチを閉じて十分に時間が経過した（図3）。

問5 平行板コンデンサーに蓄えられている電荷を求めよ。

手順4 スイッチを閉じたまま誘電体に外力を加えながらゆっくりと挿入し，平行板コンデンサーの極板間を誘電体で隙間なく満たして固定した（図4）。

問6 平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは手順4によってどれだけ変化したか，その変化分を求めよ。また，手順4で電池がした仕事と外力がした仕事も求めよ。なお，誘電体をゆっくりと挿入する場合には回路内でのジュール熱の発生は無視できるとし，平行板コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの変化と電池がした仕事および外力がした仕事との間にはエネルギー保存則が成り立つとする。

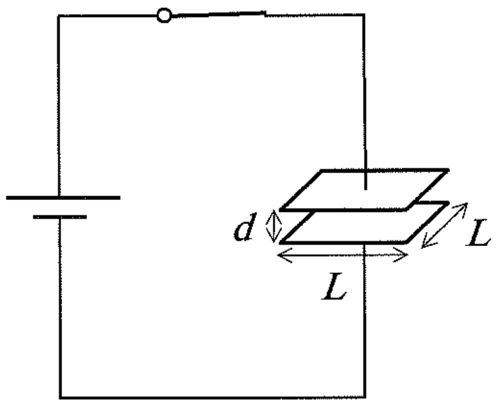


図1

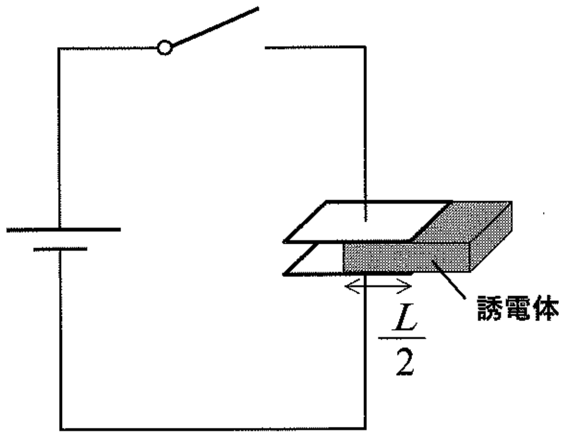


図2

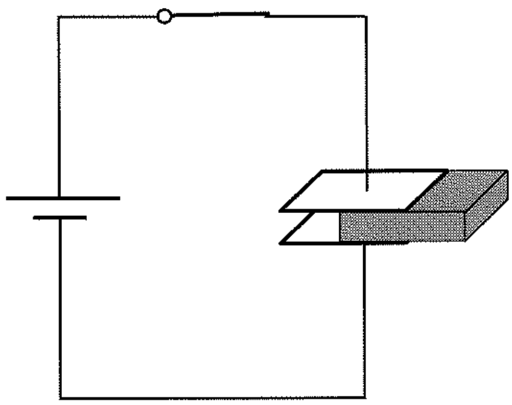


図3

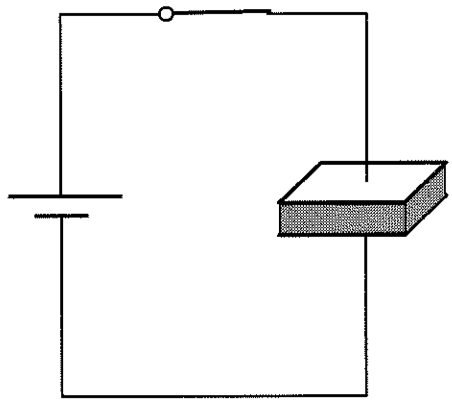


図4

第3問　図1のような半径R，高さLの円筒容器の中に質量mの単原子分子N個からなる理想気体を入れる。分子の大きさは無視でき，分子は他の分子とは衝突しないと仮定する。また，重力は無視し，容器の壁に衝突するまで分子は等速直線運動し，壁とは弾性衝突すると仮定する。円筒容器の底面に垂直にz軸をとる。i番目の分子の速度を$(v_x(i), v_y(i), v_z(i))$，速さを$v(i)$と表すと，N個の分子についての速度の各成分の2乗平均と，速さの2乗平均は

$$\overline{v_x{}^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\{v_x(i)\}^2, \quad \overline{v_y{}^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\{v_y(i)\}^2, \quad \overline{v_z{}^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\{v_z(i)\}^2,$$

$$\overline{v^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\{v(i)\}^2.$$

と表せる。Σは和をとる数学記号で$\sum_{i=1}^{N}\{a(i)\}^2 = \{a(1)\}^2 + \{a(2)\}^2 + \cdots + \{a(N)\}^2$を表す。分子の運動は等方的で，$\overline{v_x{}^2} = \overline{v_y{}^2} = \overline{v_z{}^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$が成立しているとする。

初めに，i番目の分子が円筒容器の上面に衝突する場合について考える。衝突前の分子はz軸方向に速度成分$v_z(i)(>0)$を持っているとする。

問1　上面との1回の衝突によるi番目の分子の運動量の変化の大きさを求めよ。

問2　i番目の分子が再び上面に衝突するのにかかる時間と，単位時間あたりに上面に衝突する回数を求めよ。

問3　i番目の分子の衝突により，単位時間あたりに上面が受ける力積の大きさを求めよ。また，N個の分子の衝突により単位時間あたりに上面が受ける力積の大きさを$\overline{v^2}$を含む形で表せ。

問4　上面が気体から受ける圧力pを$\overline{v^2}$を含む形で表せ。

次に，i番目の分子が円筒容器の側面に衝突する場合について考える。速度のz成分は衝突の前後で変化しないので，側面との衝突前後の運動を図2のように底面に平行な（z軸に垂直な）2次元平面に正射影して考えればよい。i番目の分子の速度のz軸に垂直な成分の大きさを$v_2(i) = \sqrt{\{v_x(i)\}^2 + \{v_y(i)\}^2}$とし，円の中心Oと衝突点Pを結ぶ線分OPに対して$\theta(i)$の角度で分子が衝突するとき，分子の速度の変化はPからOの方向にだけ生じる。

問5　側面との1回の衝突によるi番目の分子の運動量の変化の大きさを$v_2(i)$を含む形で表せ。

問6　i番目の分子が再び側面に衝突するのにかかる時間と，単位時間あたりに側面に衝突する回数を$v_2(i)$を含む形で表せ。

問7　i番目の分子の衝突により，単位時間あたりに側面が受ける力積の大きさを$v_2(i)$を含む形で表せ。また，N個の分子の衝突により単位時間あたりに側面が受ける力積の大きさを$\overline{v^2}$を含む形で表せ。

問8　問7を踏まえ，側面が気体から受ける圧力が問4で求めたpと一致していることを示せ。

問9　円筒容器内の理想気体の絶対温度がTのとき，kをボルツマン定数として$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$が成立する。円筒容器内の気体の圧力$p$，分子数$N$，絶対温度$T$，円筒容器の体積$V$，ボルツマン定数$k$の間に成り立つ関係式を求めよ。

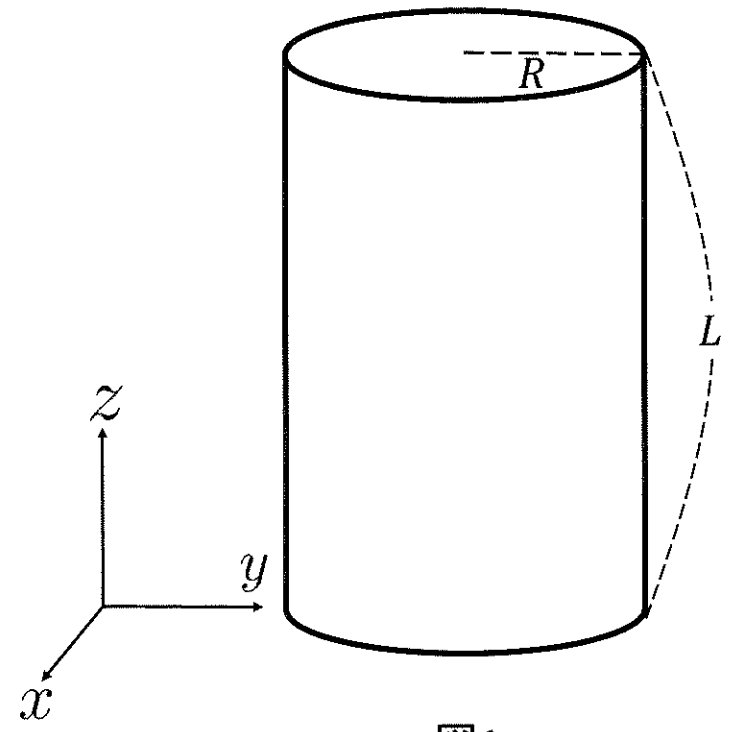


図1

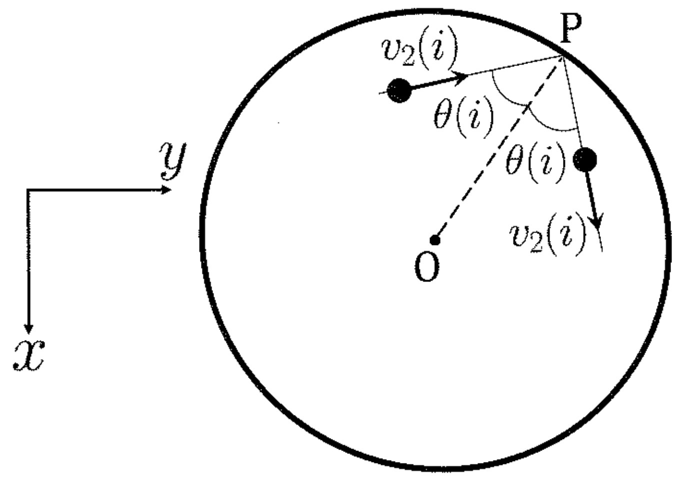


図2

第 4 問

[1]　大気中の放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) は，宇宙線により大気中に生じた中性子 ($^{1}_{0}n$) と大気中の窒素 ($^{14}_{7}N$) との核反応により生成される。一方，放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) は β 崩壊を起こして他の原子核に変わる。以下の問いに答えよ。

問 1 放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) の生成の核反応式は $^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + \boxed{\text{ア}}$ である。$\boxed{\text{ア}}$ に当てはまる記号を書け。原子番号と質量数も明記すること。

問 2 放射性炭素 ($^{14}_{6}C$)はβ 崩壊を起こして安定な原子核に変わる。崩壊後の原子核の陽子数と中性子数をそれぞれ答えよ。

[2]　植物は生きている間，光合成の過程で大気中の炭素を取り込む。したがって，生きている植物中の炭素 ($^{12}_{6}C$) に対する放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) の割合（放射性炭素同位体比）は，大気中と同じである。植物が生命活動を終えると炭素の取り込みがなくなり，放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) のみが時間とともに減少するため，植物中の放射性炭素同位体比は大気中の値に比べて減少する。このことを利用して，過去に生命活動を終えた植物試料中の放射性炭素同位体比を大気中の値と比べることで，その植物が生命活動を終えた年代を推定することができる。この推定方法を放射性炭素年代測定法とよぶ。放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) の半減期を 5.7×10^3 年とし，大気中の放射性炭素同位体比は年代によらず一定として以下の問いに答えよ。

問 3 植物が生命活動を終えた後，放射性炭素 ($^{14}_{6}C$) の半減期の 4 倍の時間が経過したとき，植物中の放射性炭素同位体比は大気中の何倍か求めよ。

問 4 ある遺跡から発掘された植物試料中の放射性炭素同位体比は，大気中の $\dfrac{1}{3}$ であった。その植物が生命活動を終えたのは何年前か，$\log_{10} 2 \fallingdotseq 0.30$，$\log_{10} 3 \fallingdotseq 0.48$ をもちいて計算せよ。

[3]　質量数の大きい不安定な原子核の中には，安定な原子核になるまで放射性崩壊を繰り返すものがあり，次々と α 線と β 線を放出して崩壊していく一連の放射性核種の系列を崩壊系列という。ウラン系列はウラン ($^{238}_{92}U$) から始まり，安定な鉛 ($^{206}_{82}Pb$) まで崩壊する崩壊系列である。以下の問いに答えよ。

問 5 ウラン ($^{238}_{92}U$) が 1 回の α 崩壊によってトリウム (Th) に変わる時の核反応式を書け。原子番号と質量数も明記すること。

問 6 ウラン系列において，ウラン ($^{238}_{92}U$) が安定な鉛 ($^{206}_{82}Pb$) になるまでに，α 崩壊と β 崩壊はそれぞれ何回起こるか答えよ。