物理チャレンジ 2018

第１チャレンジ

理論問題コンテスト

2018 年 7 月 8 日（日）

13：30～15：00

理論問題コンテストにチャレンジする前に下記の**＜注意事項＞**をよく読んでください。問題は第 1 問から第 7 問で構成されています。どの問題から取り組んでも結構です。最後まであきらめず，チャレンジしてください。

＜注意事項＞

1. 開始の合図があるまで，問題冊子（全 19 ページ）を開けてはいけません。
2. 電卓を使用することはできません。スマートフォンなどを時計として使用することはできません。スマートフォンなどは必ず電源を切ってかばんの中にしまってください。
3. 参考図書（教科書，参考書，問題集，ノート，専門書）を持ち込むことができます。
4. 開始の合図の前に，**解答用紙（マークシート用紙）に，第１チャレンジ番号と氏名を必ず記入（マーク）**してください。
5. 問題ごとに解答欄が 1 , 2 , . . . 29 , と指定されているので，**必ず，その番号の解答欄にマークしてください。**
6. 次の頁（表紙裏）に物理定数等の一覧表があります。必要ならばそれらの値を用いてください。そのとき必要な桁まで利用してください。
7. 終了の合図があるまで，監督者の許可なしに部屋の外に出ることはできません。
8. 気分が悪くなったとき，トイレに行きたくなったときは，手を挙げて監督者に知らせてください。
9. 他の参加者の迷惑にならないように静粛に解答をすすめてください。迷惑行為があった場合は退出してもらう場合があります。
10. 退出の際に問題冊子は持ち帰ってください。

基礎物理定数

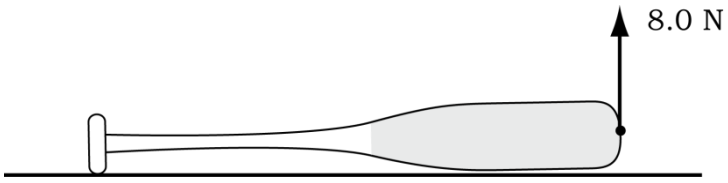
真空中の光速	c ＝ 2.99792458×10^{8} m/s
電気定数(真空の誘電率)	ε_0 ＝ 8.854187817×10^{-12} F/m
磁気定数(真空の透磁率)	μ_0 ＝ 1.2566370614×10^{-6} N/A^{2}
万有引力定数	G ＝ 6.67408(31)×10^{-11} N･m^{2}/kg^{2}
プランク定数	h ＝ 6.626070040(81)×10^{-34} J･s
電気素量(素電荷)	e ＝ 1.6021766208(98)×10^{-19} C
リュードベリ定数	R_{y} ＝ 1.0973731568508(65)×10^{7} /m
アボガドロ定数	N_{A} ＝ 6.022140857(74)×10^{23} /mol
ボルツマン定数	k_{B} ＝ 1.38064852(79)×10^{-23} J/K
気体定数	R ＝ 8.3144598(48) J/(mol･K)
電子の質量	m_{e} ＝ 9.10938356(11)×10^{-31} kg
陽子の質量	m_{p} ＝ 1.672621898(21)×10^{-27} kg
陽子 - 電子質量比	m_{p}/ m_{e} ＝1836.15267398(17)
統一原子質量単位	1 u ＝ 1.660539040(20)×10^{-27} kg

その他の物理量

標準重力加速度	g ＝ 9.80665 m/s^{2}
静電気力の クーロンの法則の定数	k ＝ 8.99×10^{9} N･m^{2}/C^{2}
静磁気力の クーロンの法則の定数	k_m ＝ 6.33×10^{4} N･m^{2}/Wb^{2}
電子ボルト	1 eV ＝ 1.6021766208×10^{-19} J
標準大気圧	1 atm ＝ 1013.25 hPa

第 1 問　次の **問 1 ~ 12** に答えなさい。

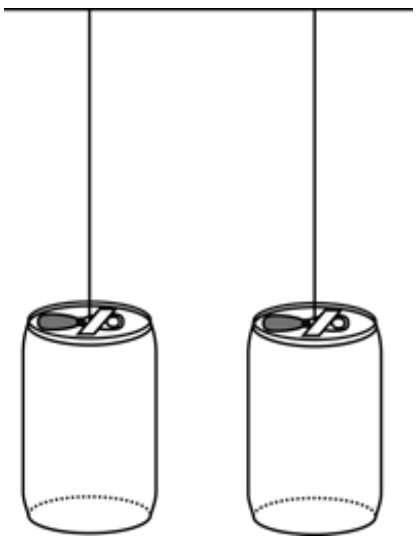
問 1　長さ 1.0 m, 質量 1.0 kg のバットを水平にしてバットの先を上方に少し持ちあげるとき 8.0 N の力を必要とした。バットの重心はバットの先端から何 cm のところにあるか。最も適当なものを, 下の①～⑤の中から1つ選びなさい。　1



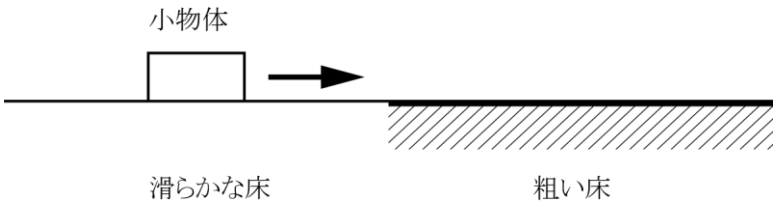
① 10 cm　② 20 cm　③ 30 cm　④ 40 cm　⑤ 50 cm

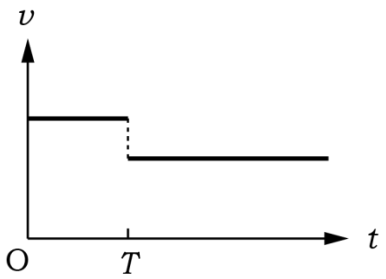
問 2　図のように, 2 個の円筒状の容器を糸で吊るし, その間を強く吹くと, 2 個の容器はどうなるか。最も適当な説明を, 次の①～③の中から1つ選びなさい。　2

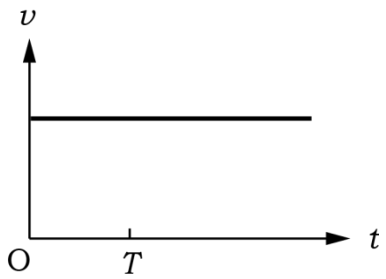
① はじめ 2 個の容器は互いに近づく。
② はじめ 2 個の容器は互いに遠ざかる。
③ 2 個の容器は流れと垂直に 2 個とも同じ向きに振動する。

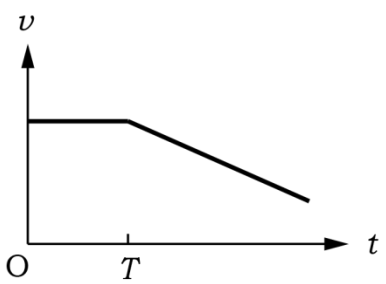


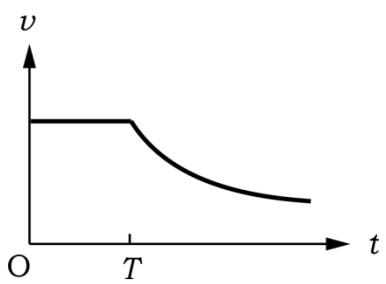
問 3　滑らかな水平な床面上を小物体が滑っている。小物体は時刻 T で一様な粗い床面に入った後も滑り続けた。時間 t と速さ v の関係を表すグラフとして，最も適当なものを，下の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。　3

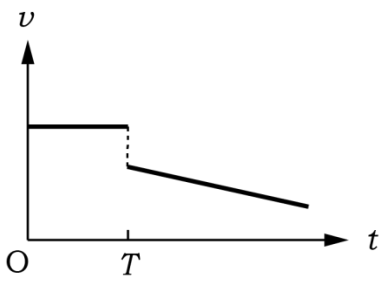


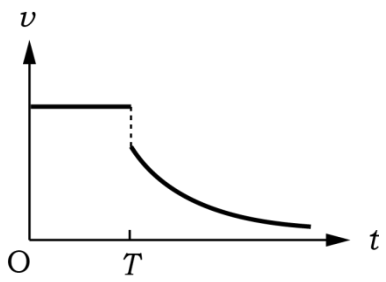
①


②


③


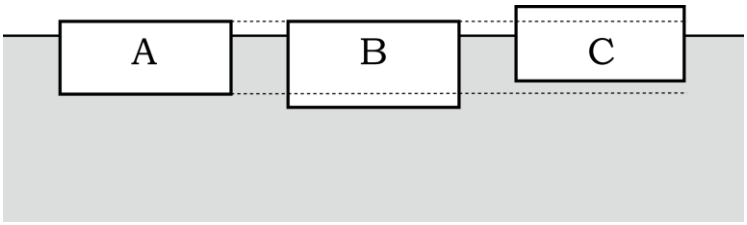
④


⑤


⑥


問４　同じ底面積の３つの直方体を水に浮かべたところ，次の図のようになった。平均密度の大小関係はどうなるか。最も適当なものを，次の①～⑥の中から1つ選びなさい。　4

① A > B > C
② A > C > B
③ B > A > C
④ B > C > A
⑤ C > A > B
⑥ C > B > A

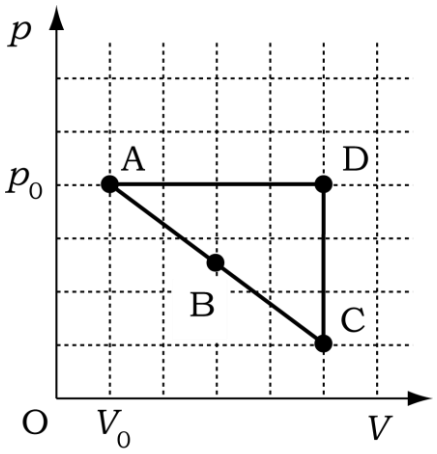


問５　断熱された円筒容器に 500 g の水を入れ，すばやく円筒容器をひっくり返すと水の重心は 50 cm 落下した。この動作を 200 回繰り返すとき，水温はおよそ何度上昇するか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし，水の比熱は 4.2 J/(g･K)とする。　5

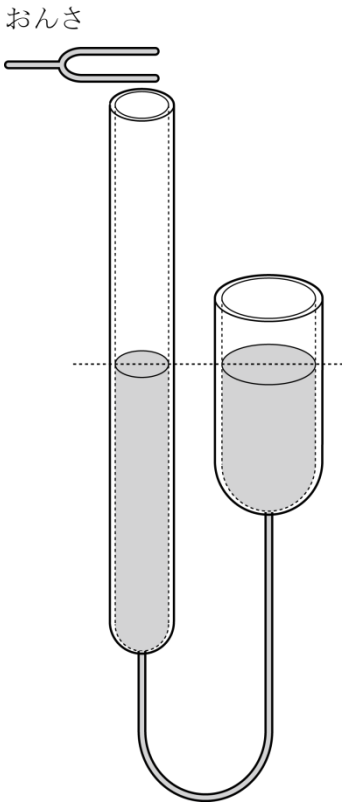
① 0.02°C　② 0.2°C　③ 2.0°C　④ 20°C　⑤ 200°C

問６　容器に閉じ込めた圧力 p_0，体積 V_0 の状態 A の理想気体を，A→B→C→D→A と状態を変化させた。状態 A～D の中で最も温度が低い状態はどれか。最も適当なものを，次の①～④の中から1つ選びなさい。　6

① A
② B
③ C
④ D

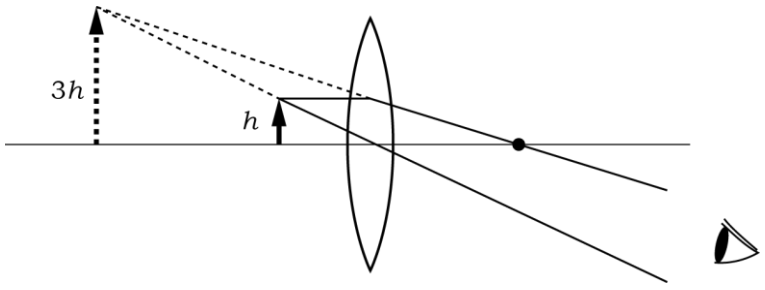


問 7　図のように，気柱共鳴器でおんさを使った実験をしたところ，管口から水面までの距離が 9.5 cm，31.0 cm，52.5 cm のところで共鳴が起こった。このおんさの発する音波の波長と振動数はいくらか。最も適当なものを，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。ただし，空気中の音速は 340 m/s とする。　7



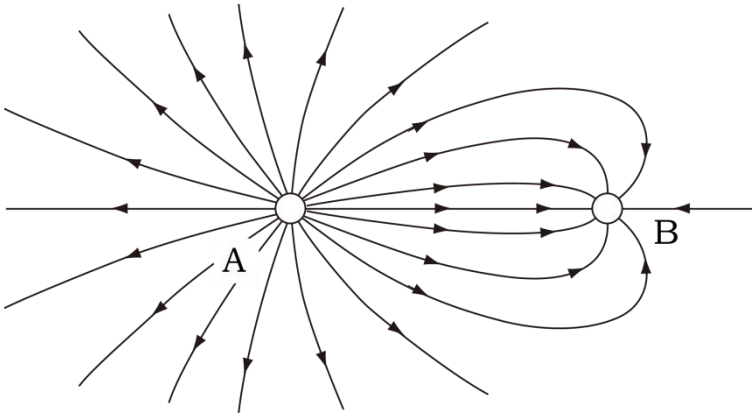
	波長	振動数
①	21.5 cm	15.8 Hz
②	21.5 cm	1580 Hz
③	43.0 cm	7.91 Hz
④	43.0 cm	791 Hz

問 8　焦点距離が 6.0 cm の虫めがね（薄い凸レンズ）を用いて，物体を 3 倍の大きさの虚像として観察したい。物体を虫めがねから何 cm の位置に置けばよいか。最も適当なものを，下の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。　8



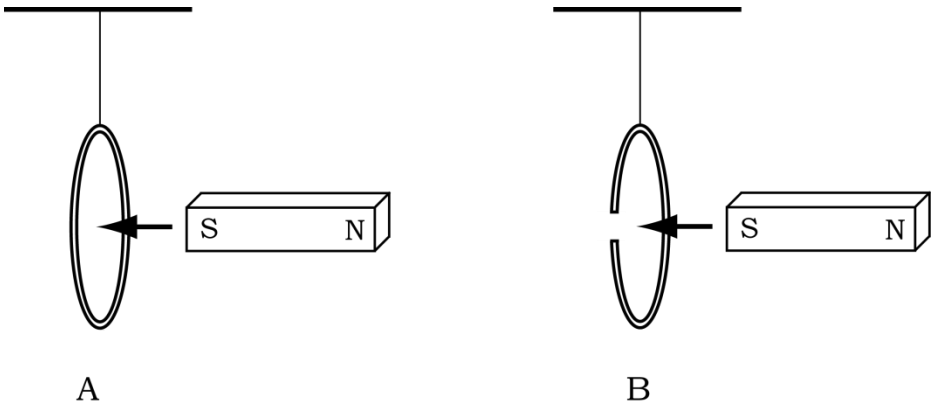
① 2.0 cm　② 4.0 cm　③ 6.0 cm　④ 12 cm　⑤ 24 cm

問９　次の図はＡとＢの2つの点電荷のまわりの電気力線を描いたものである。**間違っている説明を**，下の①～⑤の中から1つ選びなさい。　9



① Ａは正電荷であり，Ｂは負電荷である。
② Ａが Ｂから受ける力は，Ｂが Ａから受ける力より小さい。
③ Ａが Ｂから受ける力と，Ｂが Ａから受ける力は等しい。
④ Ａは Ｂに引き寄せられる力を受けている。
⑤ Ａの電荷の大きさは Ｂの電荷の大きさより大きい。

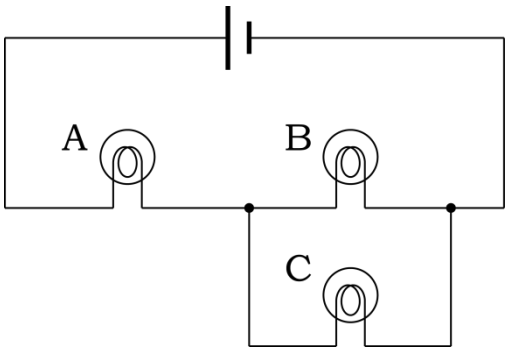
問 10　図のように，アルミ円環の A とアルミ円環の一部を切り取った B を紐で吊した。それぞれの中心に強い磁石の S 極を勢いよく近づけた。A, B にはどのようなことが起こるか。最も適当なものを，下の①～⑨の中から 1 つ選びなさい。　10



A　　B

	A	B
①	磁石に引き付けられる。	磁石に引き付けられる。
②	磁石に引き付けられる。	磁石に反発する。
③	磁石に引き付けられる。	動かない。
④	磁石に反発する。	磁石に引き付けられる。
⑤	磁石に反発する。	磁石に反発する。
⑥	磁石に反発する。	動かない。
⑦	動かない。	磁石に引き付けられる。
⑧	動かない。	磁石に反発する。
⑨	動かない。	動かない。

問 11　3 つの同じ豆電球 A, B, C がある。A と B の 2 つを直列接続して電池につなぐと，どちらも同じ明るさで点灯した。次に，図のように，B に C を並列に接続すると，はじめの A と B の 2 つを直列接続したときと比較して，A, B, C の明るさはどうなるか。最も適当なものを，下の①～⑥の中から1つ選びなさい。　11



① A ははじめと同じ明るさで点灯し，B と C は点灯しない。
② A ははじめより明るく点灯し，B と C ははじめの B の明るさと同じ明るさで点灯する。
③ A ははじめより明るく点灯し，B と C ははじめの B の明るさより暗く点灯する。
④ A ははじめより暗く点灯し，B と C ははじめの B の明るさと同じ明るさで点灯する。
⑤ A ははじめより暗く点灯し，B と C ははじめの B の明るさより明るく点灯する。
⑥ A, B, C ははじめの B の明るさと同じ明るさで点灯する。

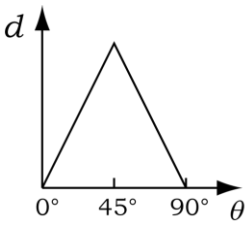
問 12　半減期 T_0 でβ崩壊する放射性元素の線源について，正しい説明を，次の①～④の中から1つ選びなさい。　12

① T_0 後に，線源から単位時間当たりに放出されるβ線の粒子の数は半分になる。
② T_0 後に，線源から放出されるβ線の粒子当たりのエネルギーは半分になる。
③ T_0 後に，線源の質量はほぼ半分になっている。
④ T_0 後に，線源の電荷は半分になっている。

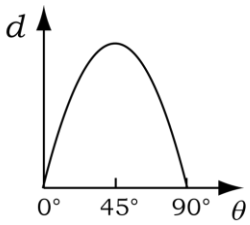
第２問　次の **問 1 ~ 4** に答えなさい。

問 1　図のように，水平面から角度θ，初速 v_0 でボールを投げる。空気の抵抗が無視できるとき，再び水平面に戻るまでの距離 d とθの関係を表すグラフはどれか。最も適当なものを，下の①～④の中から1つ選びなさい。 13

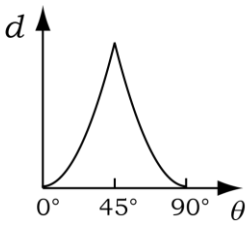
①



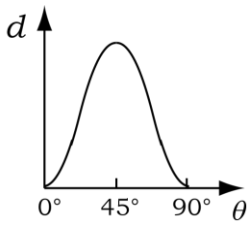
②



③



④



問２　図１のように，空気の抵抗を十分に受けるような「帆」を備えた台車に糸を取り付け，滑車を通しておもりで引いた。はじめ，台車は押さえてあり，時刻 t_0 で手を離すと台車は動き出した。図２は，このときの時間に対する台車の速度 v のグラフである。台車を引く糸の張力 T の大きさのグラフとして，最も適当なものを，下の①～⑤から1つ選びなさい。　14

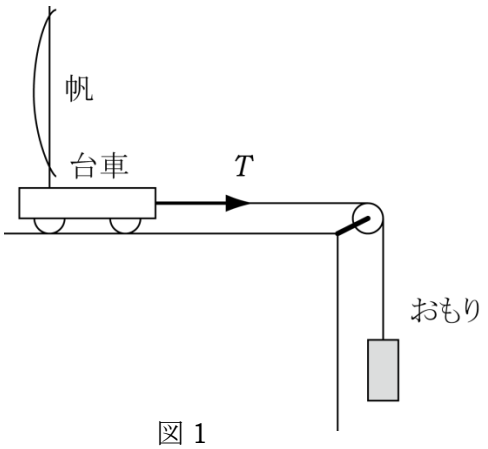


図１

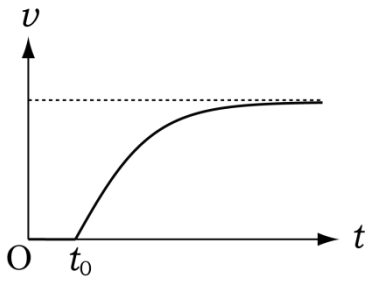
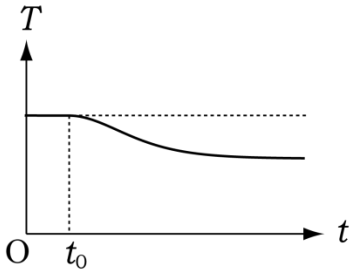
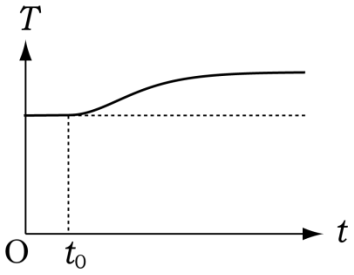
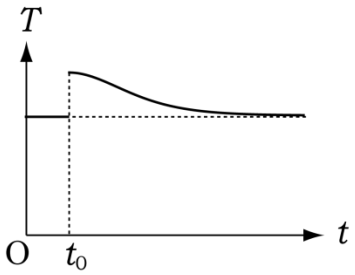
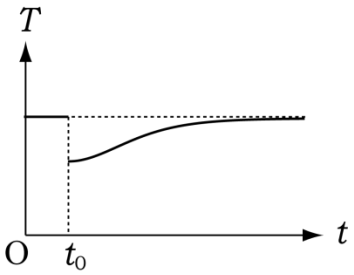


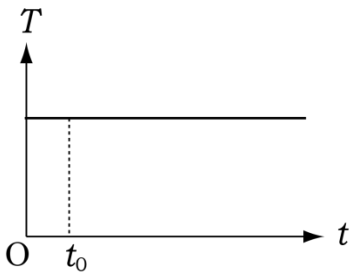
図２

①


②


③


④


⑤


問 3　カーリングのストーン A が同じ質量の静止しているストーン B に弾性衝突する。図 1 のように，衝突前の B の中心は，衝突前の A の中心の運動の軌跡から半径だけ離れていた。図 2 のように，衝突後の A と B の進行方向が衝突前の A の進行方向となす角をそれぞれ α と β とする。α と β はどうなるか。最も適当な組み合わせを，下の①～⑨の中から1つ選びなさい。ただし，ストーン表面はなめらかで回転については考えないとする。　15

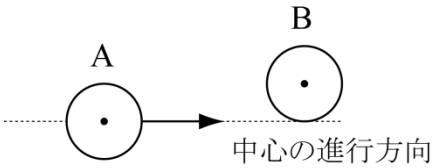


図 1

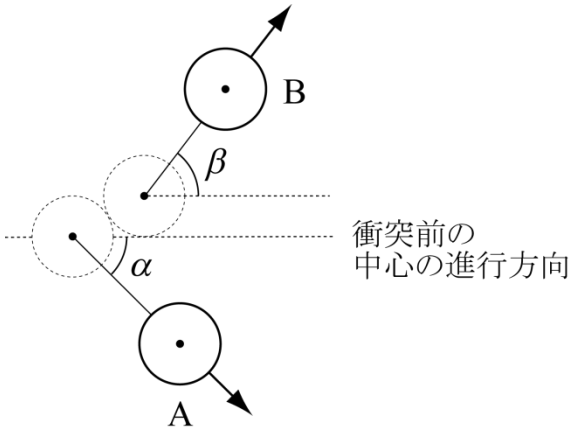
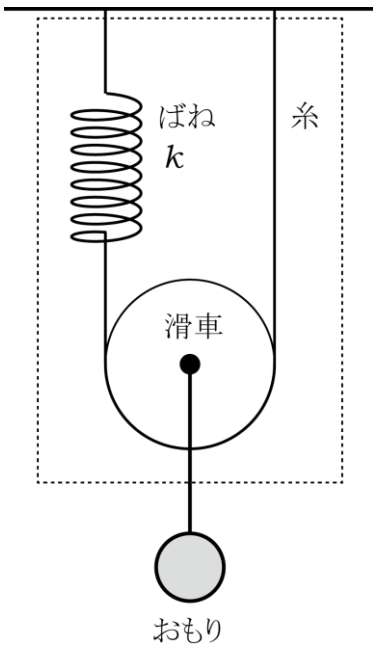


図 2

	α	β
①	60°	60°
②	60°	45°
③	60°	30°
④	45°	60°
⑤	45°	45°
⑥	45°	30°
⑦	30°	60°
⑧	30°	45°
⑨	30°	30°

問 4　図のように，ばね定数 k の軽いばねと質量の無視できる軽い滑車と糸を用いた装置におもりをぶら下げた。このとき，図の破線で囲った部分を1つのばねとして見なすとき，このばね定数はいくらか。最も適当なものを，次の①～⑥の中から1つ選びなさい。　16



① k　② $2k$　③ $3k$　④ $4k$　⑤ $5k$　⑥ $6k$

第 3 問　次の **問 1 ~ 2** に答えなさい。

問 1　質量と温度が異なる同じ種類の液体 A, B, C があり, 温度はそれぞれ T_A, T_B, T_C である。A と B を混ぜ合わせると温度は T_{AB} となり, B と C を混ぜ合わせると温度は T_{BC} となった。A と C を混ぜ合わせたときの温度はいくらか。最も適当なものを, 次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

17

① $\dfrac{T_A\frac{T_{AB}-T_B}{T_A-T_{AB}}+T_C\frac{T_{BC}-T_B}{T_C-T_{BC}}}{\frac{T_{AB}-T_B}{T_A-T_{AB}}+\frac{T_{BC}-T_B}{T_C-T_{BC}}}$　② $\dfrac{T_A\frac{T_{AB}-T_B}{T_A-T_{AB}}-T_C\frac{T_{BC}-T_B}{T_C-T_{BC}}}{\frac{T_{AB}-T_B}{T_A-T_{AB}}-\frac{T_{BC}-T_B}{T_C-T_{BC}}}$

③ $\dfrac{T_{AB}+T_{BC}}{2}$　④ $\dfrac{T_A+T_C}{2}$

⑤　液体 A, B, C の条件が不十分で求められない。

問 2　1 モルのある気体 A の状態方程式が, 圧力を p, 体積を V, 絶対温度を T として,

$$p\,(V\,-b) = RT$$

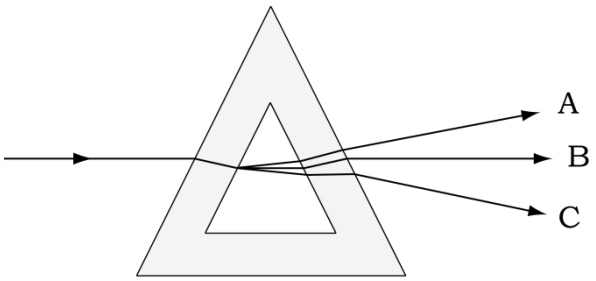
と表される。ここで, R は気体定数, b は体積の次元をもつ小さな正の定数である。温度 T_0 で体積を V_1 から V_2 (> V_1) まで増加させた。このときの気体 A が外部にする仕事を, 1 モルの理想気体を同じ温度 T_0 で体積を V_1 から V_2 まで増加させたときの仕事と比較する。正しい説明を, 次の①～④の中から1つ選びなさい。

18

① A の仕事は, 理想気体の仕事より常に大きい。
② A の仕事は, 理想気体の仕事より常に小さい。
③ A の仕事は, 理想気体の仕事と等しい。
④ A の仕事と理想気体の仕事の大小関係は, V_1 と V_2 により変化する。

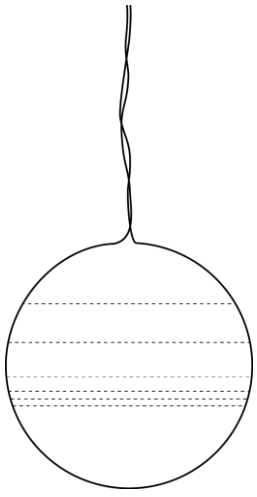
第 4 問　次の **問 1 ~ 2** に答えなさい。

問 1　次の図は，厚いガラス板でできた三角柱の容器の断面である。容器の内部が空気の場合と水で満たした場合について，レーザー光線を入射したときの光線を表す線は A, B, C のどれか。最も適当な組み合わせを，下の①～⑥の中から1つ選びなさい。ただし，ガラスの屈折率は水の屈折率よりも大きい。　19



	空気の場合	水の場合
①	A	B
②	A	C
③	B	A
④	B	C
⑤	C	A
⑥	C	B

問2　太い針金の輪をせっけん液に浸けてから静かに取り出し，輪を鉛直に保持した。このとき，はじめせっけん膜には水平な縞模様が見えたが，しばらく待つと最上部に色のつかない部分ができた。色のつかない部分のせっけん膜の厚さはいくら以下か。最も適当なものを，次の①～⑤の中からを1つ選びなさい。ただし，可視光の波長の範囲は 3.8×10^{-7} m から 7.7×10^{-7} m，せっけん液の屈折率は 1.3 とする。　20



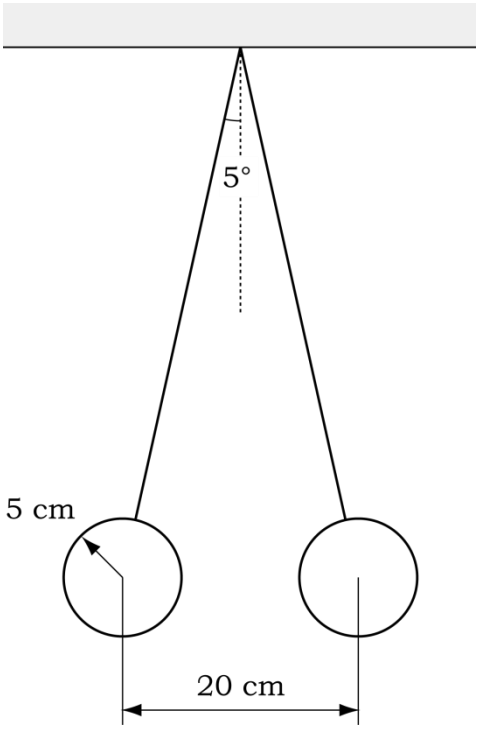
① 0.1×10^{-7} m　② 0.7×10^{-7} m
③ 1.0×10^{-7} m　④ 1.5×10^{-7} m
⑤ 1.9×10^{-7} m

第 5 問　次の **問 1 ~ 4** に答えなさい。

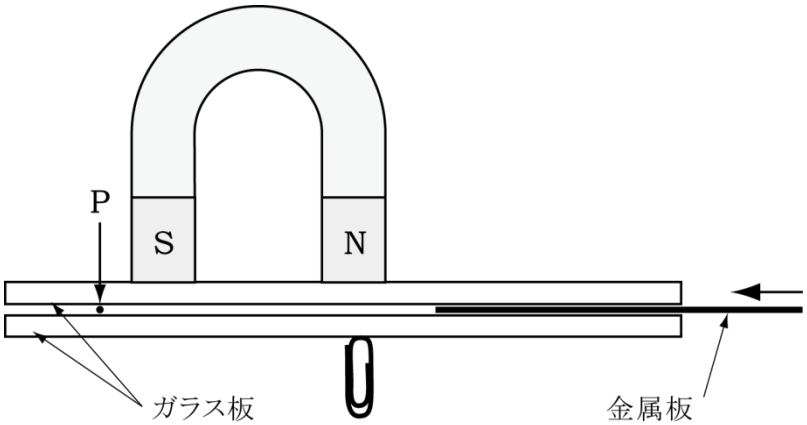
問 1　半径 5 cm, 質量 3 g の球形の2つの風船がある。2 つの風船に, 等しい電荷を表面に一様に分布させて天井から吊るした。このとき図のように, 風船の中心間の距離が 20 cm, 鉛直から糸のなす角が 5°で静止した。無限遠を基準としたときの風船の電位はおよそいくらか。最も適当なものを, 次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし, 風船の表面の電位は, 全電荷を Q, 半径を a, クーロンの法則の比例定数を k として, $V = kQ/a$ で与えられる。 また, tan5° = 0.09 である。

21

① 20 V
② 200 V
③ 2 kV
④ 20 kV

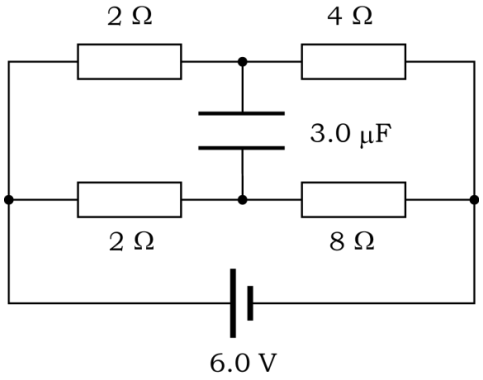


問 2　図のように，2 枚のガラス板の上に U 字型の磁石を置くと，ガラス板の下にクリップが吊り下がった。2 枚のガラス板の間に，図の P の位置までゆっくりと金属板を入れた。クリップが落ちる金属板はどれか。最も適当なものを，下の①～⑦の中から1つ選びなさい。　22



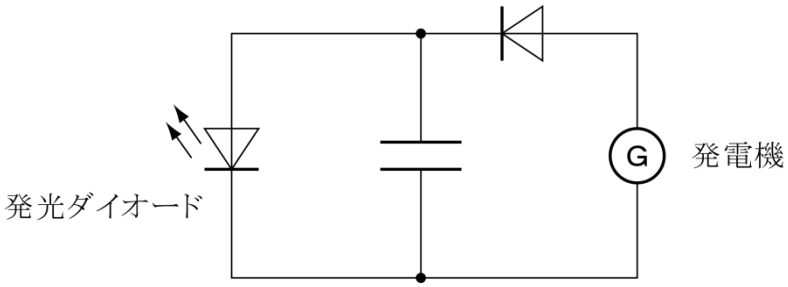
	クリップが落ちる金属板
①	アルミ板，鉄板，銅板
②	アルミ板，鉄板
③	アルミ板，銅板
④	鉄板，銅板
⑤	アルミ板
⑥	鉄板
⑦	銅板

問 3　図のような 4 本の抵抗と電気容量 3.0 μF のコンデンサーと電圧 6.0 V の電池からなる回路がある。電池をつないでから十分に時間が経ったのち，コンデンサーに蓄えられる電荷はいくらか。最も適当なものを，次の①～④の中から1つ選びなさい。　23



① 1.2 μC
② 2.4 μC
③ 12 μC
④ 18 μC

問 4　図のような回路で，交流手回し発電機と電気容量の大きなコンデンサーを使って発光ダイオードを点灯させる。発電機を一定の速さで回し始めたのちの発光ダイオードの点灯の様子について，最も適当な説明を，下の①～⑤の中から1つ選びなさい。ただし，発電機の起電力は発光ダイオードの発光電圧よりも大きいとする。　24



① 発電機を回し始めた瞬間から発光ダイオードは点灯し，発電機を停止させたのちもしばらく点灯する。
② 発電機を回し始めた瞬間から発光ダイオードは点灯し，発電機を停止させるとその瞬間に消灯する。
③ 発電機を回し始めて少し時間が経ってから発光ダイオードは点灯し，発電機を停止させたのちもしばらく点灯する。
④ 発電機を回し始めて少し時間が経ってから発光ダイオードは点灯し，発電機を停止させるとその瞬間に消灯する。
⑤ 発電機を回してもコンデンサーに電荷が供給されるだけで，発光ダイオードは点灯しない。

第 6 問　次の **問 1 ~ 2** に答えなさい。

問 1　X 線発生装置で用いる電子の加速電圧が 40 kV であった。このときの電子の波長はおよそいくらか。最も適当なものを，次の①～④の中から1つ選びなさい。 25

① 6.1×10^{-8} m　② 6.1×10^{-10} m
③ 6.1×10^{-12} m　④ 6.1×10^{-14} m

問 2　ブラックホールが合体するとき重力波が放出される。合体により減少した質量が太陽の質量の 3 倍であり，そのすべてが重力波のエネルギーになったとする。このとき，放出された重力波のエネルギーはいくらか。最も適当なものを，次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし，太陽の質量は 2.0×10^{30} kg である。 26

① 9.0×10^{38} J　② 1.8×10^{39} J
③ 2.7×10^{47} J　④ 5.4×10^{47} J

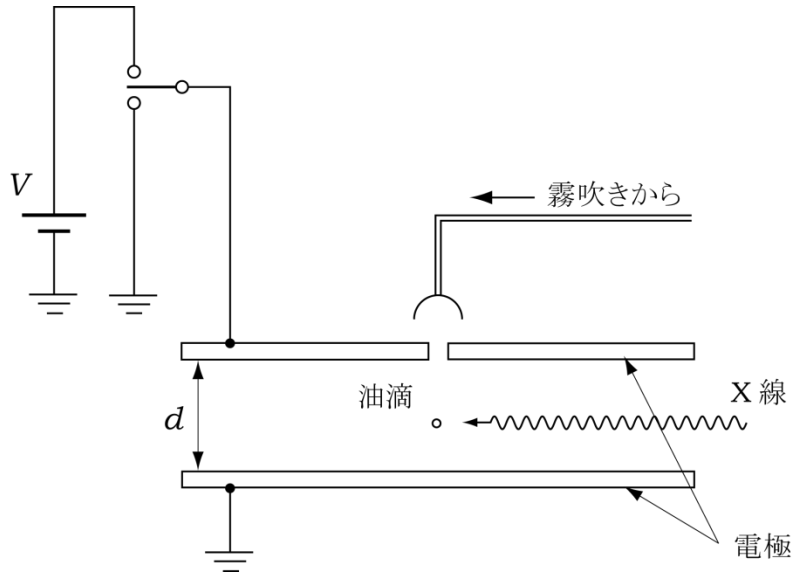
第 7 問　次の **問 1 ~ 3** に答えなさい。

シカゴ大学のロバート・ミリカンは，1909 年，電子の電気量の大きさ（電気素量）を次の方法で測定した。

i)　油滴を落下させ，その終端速度を測定することにより油滴の大きさを求める。

ii)　電圧をかけた平行平板電極（間隔 d）の中で，X 線照射により帯電させた油滴を落下させ，その終端速度を測定することにより油滴の電荷を求める。

iii)　これらの油滴電荷の測定値から電気素量を求める。



図：ミリカンの装置の概念図。上部の極板には小さな穴があり，
そこから極板間内に油滴が落ちる。

問 1　半径 a の油滴の空気抵抗の大きさは，油滴の終端速度の大きさを v_0，比例定数を η として，$6\pi\eta a v_0$ と表される。v_0 を使って a はどう表されるか。最も適当なものを，次の①～⑥の中から 1 つ選びなさい。ただし，油の密度を ρ_o，空気の密度を ρ_a，重力加速度の大きさを g とする。

27

① $3\sqrt{\dfrac{\eta v_0}{2\rho_0 g}}$　② $3\sqrt{\dfrac{\eta v_0}{2(\rho_0-\rho_a)g}}$　③ $3\sqrt{\dfrac{\eta v_0}{2(\rho_0+\rho_a)g}}$

④ $\dfrac{6\eta v_0}{\rho_0 g}$　⑤ $\dfrac{6\eta v_0}{(\rho_0-\rho_a)g}$　⑥ $\dfrac{6\eta v_0}{(\rho_0+\rho_a)g}$

問２　間隔 d の電極間に電位差 V を与えたところ，電極間にある半径 a の油滴が**上昇**を始めた。終端速度の大きさを v_E とするとき，油滴の電荷の大きさはどう表されるか。最も適当なものを，次の①～⑤の中から 1 つ選びなさい。　28

① $6\pi\eta a v_0 \frac{d}{V}$　② $6\pi\eta a v_E \frac{d}{V}$

③ $6\pi\eta a(v_E - v_0)\frac{d}{V}$　④ $6\pi\eta a(v_0 - v_E)\frac{d}{V}$　⑤ $6\pi\eta a(v_E + v_0)\frac{d}{V}$

問３　測定を 6 回行ったところ，単位を 10^{-19} C として油滴の電荷の大きさは次の値となった。

1.8　5.1　3.4　4.8　3.6　6.4

この結果から得られる電気素量はいくらか。最も適当なものを，次の①～④の中から 1 つ選びなさい。　29

① 1.5×10^{-19} C　② 1.6×10^{-19} C　③ 1.7×10^{-19} C　④ 1.8×10^{-19} C