

物 理・化 学

問 題

2019年度

〈H31130017〉

注 意 事 項

- この問題冊子には、物理および化学の問題が印刷されています。
受験票に記載されている理科解答パターンの問題のみを解答してください。

解答 パターン	物 理	化 学	生 物 (別冊配付)
A	○	○	×
B	○	×	○
C	×	○	○

- この試験では、解答パターンがAの受験生には、この問題冊子、記述解答用紙およびマーク解答用紙を配付します。
解答パターンがBおよびCの受験生には、これらに加え「生物」の問題冊子および記述解答用紙（生物その1、生物その2）を配付します。
- 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないでください。
- 物理の問題は2～9ページ、化学の問題は12～19ページに記載されています。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の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせてください。
- 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入してください。
- マーク解答用紙記入上の注意
 - 印刷されている受験番号が、自分の受験番号と一致していることを確認したうえで、氏名欄に氏名を記入してください。
 - マーク欄にははっきりとマークしてください。また、訂正する場合は、消しゴムで丁寧に、消し残しがないようによく消してください。

マークする時	● 良い	○ 悪い	○ 悪い
マークを消す時	○ 良い	○ 悪い	○ 悪い

- 記述解答用紙記入上の注意
 - 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入してください。
 - 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
 - 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入してください。

数 字 見 本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- 受験番号は右詰めで記入し、余白が生じる場合でも受験番号の前に「0」を記入しないでください。

	万	千	百	十	一
(例) 3825番⇒		3	8	2	5

- 解答はすべて所定の解答欄に記入してください。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合があります。
- 下書きは問題冊子の余白を使用してください。
- 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにしてください。
- 問題冊子は持ち帰ってください。
- いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出してください。

物理（マーク解答問題）

〔I〕 以下の空欄にあてはまるものを各解答群から選び、マーク解答用紙の該当欄にマークせよ。

図1のように、右向きを正とする x 軸上の $x = 0$ の位置に音源(S)がある。現在、音源からは振動数 f の音波が発せられている。音源の右側には、速さ v_R で遠ざかる反射板(R)がある。音源の左側には、 $x = -L$ の位置に固定された集音マイク(M)がある。音源の左半分には吸音カバーが取り付けられており、音源から発せられた音波は右側にしか伝搬しない。時刻 $t = 0$ における音源と反射板の距離を L 、音速を V とする。反射板の速さ v_R は音速 V よりも遅い。

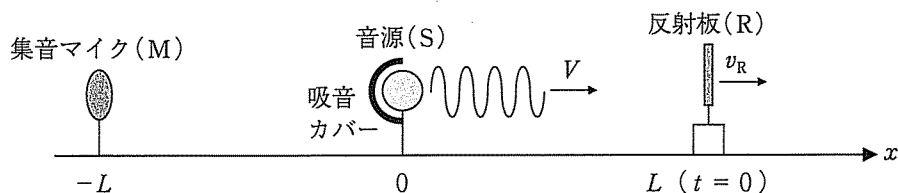


図1

問1 時刻 $t = 0$ に音源から発せられた音波が反射板に到達する時刻 t_1 は (1) であり、時刻 $t = \frac{1}{f}$ に音源から発せられた音波が反射板に到達する時刻 t_2 は (2) である。反射板(R)で観測される音波の振動数は $\frac{1}{t_2 - t_1}$ であり、 V 、 v_R 、 f を使って表すと (3) となる。

(1)と(2)の解答群

a. $\frac{L}{V}$

b. $\frac{L}{V + v_R}$

c. $\frac{L}{V - v_R}$

d. $\frac{L}{V + 2v_R}$

e. $\frac{L}{V - 2v_R}$

f. $\frac{1}{f} + \frac{L}{V + v_R}$

g. $\frac{1}{f} + \frac{L}{V - v_R}$

h. $\frac{fL + V}{f(V - v_R)}$

i. $\frac{fL - V}{f(V - v_R)}$

j. $\frac{fL + v_R}{f(V - v_R)}$

k. $\frac{fL + v_R}{f(V + v_R)}$

(3)の解答群

a. $\frac{V + v_R}{V} f$

b. $\frac{V - v_R}{V} f$

c. $\frac{V}{V + v_R} f$

d. $\frac{V}{V - v_R} f$

e. $\frac{V + v_R}{V - v_R} f$

f. $\frac{V - v_R}{V + v_R} f$

問2 時刻 $t = 0$ に音源から発せられた音波が反射板で反射して集音マイクに到達する時刻 t_3 は (4) であり、時刻 $t = \frac{1}{f}$ に音源から発せられた音波が反射板で反射して集音マイクに到達する時刻 t_4 との時間差 $t_4 - t_3$ は (5) である。

(4)の解答群

- | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| a. $\frac{L(2V - v_R)}{V(V + v_R)}$ | b. $\frac{L(2V + v_R)}{V(V + v_R)}$ | c. $\frac{L(2V - v_R)}{V(V - v_R)}$ | d. $\frac{L(2V + v_R)}{V(V - v_R)}$ |
| e. $\frac{L(3V - v_R)}{V(V + v_R)}$ | f. $\frac{L(3V + v_R)}{V(V + v_R)}$ | g. $\frac{L(3V - v_R)}{V(V - v_R)}$ | h. $\frac{L(3V + v_R)}{V(V - v_R)}$ |

(5)の解答群

- | | | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| a. $\frac{1}{f}$ | b. $\frac{2}{f}$ | c. $\frac{V + v_R}{fV}$ | d. $\frac{V - v_R}{fV}$ |
| e. $\frac{V}{f(V + v_R)}$ | f. $\frac{V}{f(V - v_R)}$ | g. $\frac{V - v_R}{f(V + v_R)}$ | h. $\frac{V + v_R}{f(V - v_R)}$ |

続いて、図2のように吸音カバーを外し、音源(S)からの音波が集音マイク(M)にも直接届くようにした。

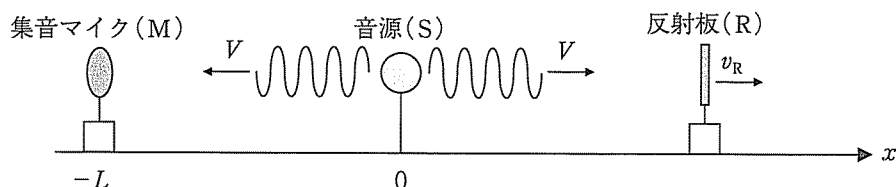


図2

問3 集音マイク(M)がうなりを観測した。観測された1秒間あたりのうなりの回数は (6) である。

(6)の解答群

- | | | | |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| a. $\frac{fv_R}{V}$ | b. $\frac{2fv_R}{V}$ | c. $\frac{fv_R}{V + v_R}$ | d. $\frac{2fv_R}{V + v_R}$ |
| e. $\frac{2fV}{V + v_R}$ | f. $\frac{2fV}{V - v_R}$ | g. $\frac{fv_R}{V - v_R}$ | h. $\frac{2fv_R}{V - v_R}$ |
| i. $\frac{f(V + v_R)}{2V}$ | j. $\frac{f(V - v_R)}{2V}$ | k. $\frac{f(V - v_R)}{2v_R}$ | l. $\frac{f(V + v_R)}{2v_R}$ |

問4 さらに、集音マイクを一定の速度 v_M で移動させたところ、移動を始める前と比べて1秒間あたりのうなりの回数が α 倍になった。ただし、 $0 < \alpha < 1$ である。このときの集音マイクの移動速度 v_M は (7) である。

(7)の解答群

- | | | | |
|--|--|--|---------------------|
| a. $(1 + \alpha)V$ | b. $(1 - \alpha)V$ | c. $(\alpha - 1)V$ | d. $-(1 + \alpha)V$ |
| e. $\left(\frac{1 + \alpha}{\alpha}\right)V$ | f. $\left(\frac{1 - \alpha}{\alpha}\right)V$ | g. $\left(\frac{\alpha - 1}{\alpha}\right)V$ | |

今度は、図3のように、右向きを正とする x 軸上の $x = 0$ の位置に振動数を変えることのできる音源(S)を、音源の左側の x 軸上に長さ b の気柱（閉管）を、右側の x 軸上に長さ c の気柱（開管）を設置した。いずれの気柱とも、管は音源の方向を向いている。音速を V とし、開口端補正は無視できるものとする。

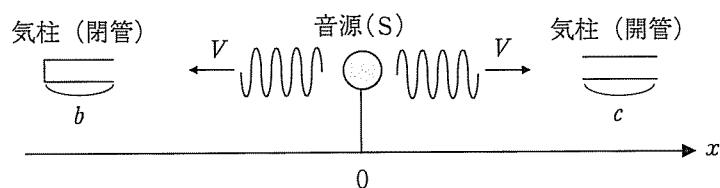


図3

- 問5 音源の発する音波の振動数を十分に小さい値から徐々に大きくしていったところ、振動数が f_1 になったところで左側の気柱で基本振動による共鳴が起こった。気柱の長さ b を音速 V と振動数 f_1 を用いて表すと (8) となる。

(8)の解答群

- a. $\frac{4f_1}{V}$ b. $\frac{2f_1}{V}$ c. $\frac{V}{f_1}$ d. $\frac{3V}{4f_1}$ e. $\frac{V}{4f_1}$ f. $\frac{2V}{3f_1}$ g. $\frac{2f_1}{3V}$ h. $\frac{V}{2f_1}$

- 問6 音源の発する音波の振動数をさらに大きくしていったところ、左側の気柱は共鳴しなくなり、振動数が $\frac{5}{4}f_1$ になったところで今度は右側の気柱が基本振動で共鳴した。右側の気柱の長さ c は、左側の気柱の長さ b の (9) 倍である。

(9)の解答群

- a. $\frac{2}{5}$ b. $\frac{5}{2}$ c. $\frac{3}{5}$ d. $\frac{5}{3}$ e. $\frac{4}{5}$ f. $\frac{5}{4}$
g. $\frac{6}{5}$ h. $\frac{5}{6}$ i. $\frac{5}{8}$ j. $\frac{8}{5}$ k. $\frac{5}{16}$ l. $\frac{16}{5}$

- 問7 音源の発する音波の振動数をさらに大きくしていったところ、左右の気柱が初めて同時に共鳴した。このときの音波の振動数は、左側の気柱の基本振動数の (10) 倍であり、右側の気柱の基本振動数の (11) 倍である。

(10)と(11)の解答群

- a. 2 b. 3 c. 4 d. 5 e. 6 f. 7
g. 8 h. 10 i. 12 j. 15 k. 16 l. 20

次に、図4のように、移動可能な音源(S)を用意して、位置 $x = 0$ を中心に角振動数 ω で音源を x 軸上で単振動させた。このとき、時刻 t における音源の位置は $\frac{v_s}{\omega} \sin \omega t$ 、速度は $v_s \cos \omega t$ であった。ここで、 v_s は正の値であり、音速 V よりも小さい。また、音源の単振動の振動数 $\frac{\omega}{2\pi}$ は音波の振動数 f_2 よりも十分に小さい。さらに、音源から十分に離れた位置 $x = -L$ および $x = L$ にそれぞれ集音マイク (M_1 , M_2) を設置した。

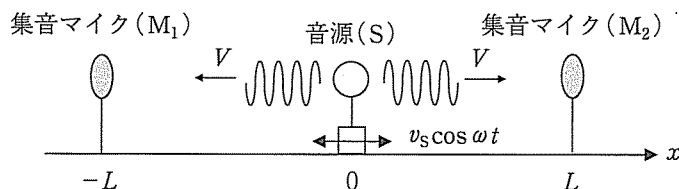


図4

問8 左側 ($x = -L$) の集音マイク (M_1) で観測される音波の最大振動数 f_{MAX} は (12) であり、最小振動数 f_{MIN} は (13) である。

(12)と(13)の解答群

- | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| a. $\frac{Vf_2}{V - v_s}$ | b. $\frac{V\omega f_2}{V - v_s}$ | c. $\frac{Vf_2}{(V - v_s)\omega}$ | d. $\frac{(V + v_s)f_2}{V - v_s}$ |
| e. $\frac{(V + v_s)\omega f_2}{V - v_s}$ | f. $\frac{Vf_2}{(V + v_s)\omega}$ | g. $\frac{Vf_2}{V + v_s}$ | h. $\frac{V\omega f_2}{V + v_s}$ |
| i. $\frac{(V + v_s)f_2}{V}$ | j. $\frac{(V - v_s)f_2}{V}$ | k. $\frac{(V - v_s)f_2}{V + v_s}$ | l. $\frac{(V - v_s)\omega f_2}{V + v_s}$ |

問9 図4のように位置 $x = 0$ を中心に音源を単振動させたとき、左側の集音マイク M_1 ($x = -L$) で最大振動数 f_{MAX} の音波が観測された時刻に、右側の集音マイク M_2 ($x = L$) では最小振動数 f_{MIN} の音波が観測された。音源が単振動する際の中心位置を x 軸上でずらして、時刻 t における音源の位置が $(x_1 + \frac{v_s}{\omega} \sin \omega t)$ 、速度が $v_s \cos \omega t$ となるようにしたところ、左右の集音マイクで同時に最大振動数 f_{MAX} の音波を観測することができた。 $x_1 > 0$ とするとき、最小の x_1 は (14) である。

(14)の解答群

- | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| a. $2\pi\omega V$ | b. $\frac{2\omega V}{\pi}$ | c. $\frac{\omega V}{\pi}$ | d. $\frac{\omega V}{2\pi}$ | e. $\frac{2\pi V}{\omega}$ | f. $\frac{\pi V}{\omega}$ | g. $\frac{\pi\omega}{V}$ |
| h. $\frac{2\pi\omega}{V}$ | i. $\frac{\pi V}{2\omega}$ | j. $\frac{\pi\omega}{2V}$ | k. $\frac{2V}{\pi\omega}$ | l. $\frac{V}{\pi\omega}$ | m. $\frac{V}{2\pi\omega}$ | |

物理（記述解答問題）

〔Ⅱ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図1のように、鉛直に立てられた壁に、2次元座標を描き、その原点 $(0, 0)$ にピンOを刺した。ただし x 軸は水平方向、 y 軸は鉛直上向きを正とした。位置 $(0, \ell)$ にもう一本のピンPを刺し、これに長さ 2ℓ の糸の一端をつなぎ、糸のもう一方の端には質量 m のおもりをつけ、おもりを位置 $(-2\ell, \ell)$ に保持した。おもりを静かに手放したところ、おもりはPを中心とする円弧に沿って落下した。なお、空気抵抗、糸の伸び縮み、ピンの太さとおもりの大きさは無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

問1 おもりが最下点に達したときに、それまでに重力がおもりにした仕事と、糸がおもりにした仕事を求めよ。また、おもりが最下点を通過するときの速さを求めよ。

問2 おもりが最下点を通過すると、糸がピンOに引っかかるため、おもりはOを中心とする円弧に沿って反時計回り方に運動した（図2）。おもりが最下点を通過する直前と直後の糸の張力を求めよ。

問3 おもりがさらに上方に運動し、 $y > 0$ となったとき（図3）、おもりの速さを、糸と x 軸のなす角度 θ を用いて表せ。ただし糸はたわんでいないとする。

問4 おもりがさらに上昇を続けたところ、糸の張力が0となり、糸がたわみ始めた。このときの $\sin \theta$ を求めよ。

問5 おもりは、糸がたわんだ状態でさらに上昇し、その後下降した。おもりが最高点に達したときの運動エネルギーと、最高点の y 座標を求めよ。たわんだ糸はおもりの運動には何ら影響を与えず、おもり単独の運動と見なして良いものとする。

第二のおもりとして、質量 αm の粘土のおもりを用意し（ただし $\alpha > 0$ ）、長さ ℓ の糸を介してピンOにつなぎ、位置 $(0, -\ell)$ に静置した（図4）。位置 $(-2\ell, \ell)$ に保持した第一のおもりを問1と同じように静かに放したところ、このおもりはピンPを中心とする半径 2ℓ の円弧に沿って運動し、第二のおもりと衝突した。衝突は完全非弾性衝突であり、衝突後の二つのおもりは一体となってピンOを中心とする円弧に沿って上昇した。

問6 衝突して一体となった二つのおもりの衝突直後の速さと、この衝突にともなって運動エネルギーの和がどれだけ減少したかを、衝突直前の第一のおもりの速さ v_0 を使って表せ。ただし、この衝突の前後においては近似的に水平方向の直線運動と見なせるものとする。

次に、第二のおもりの材質を変え、第一のおもりと第二のおもりが完全弾性衝突をする場合を考える。第二のおもりの質量は αm とする。

問7 衝突直後のそれぞれのおもりの速さと、この衝突にともなって運動エネルギーの和がどれだけ減少したかを、衝突直前の第一のおもりの速さ v_0 を使って表せ。ただし、この衝突の前後においては近似的に水平方向の直線運動と見なせるものとする。

問8 衝突後の第二のおもりが、ピンOを中心とする円弧にそって上昇し、ピンPに衝突するために α が満たすべき条件を、 v_0 を使わずに表せ。

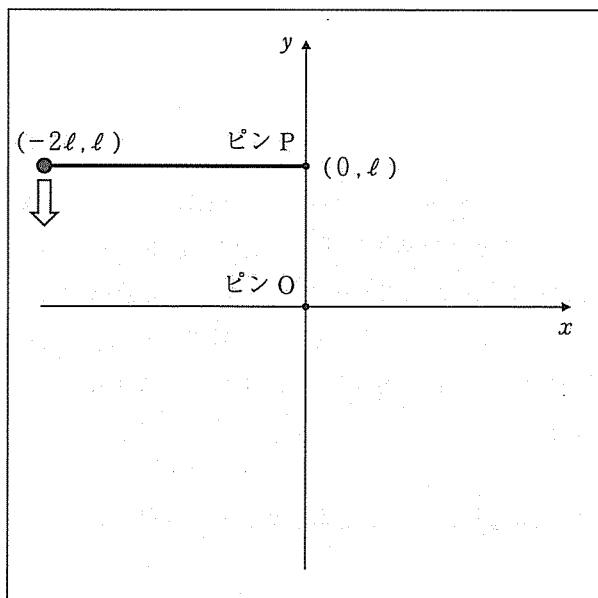


図 1

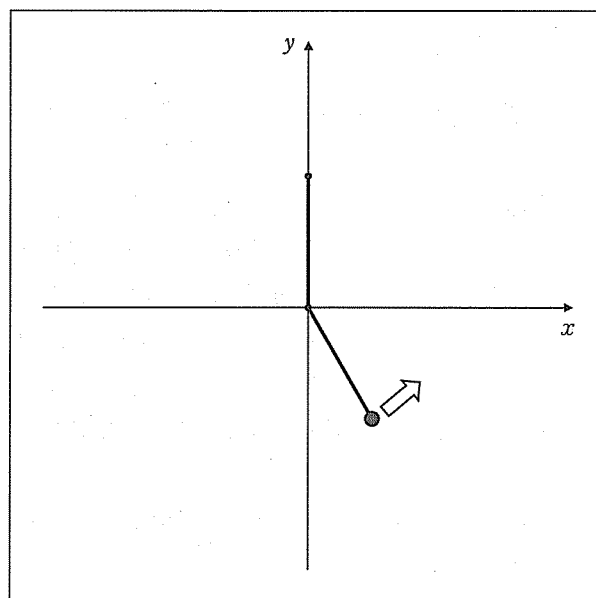


図 2

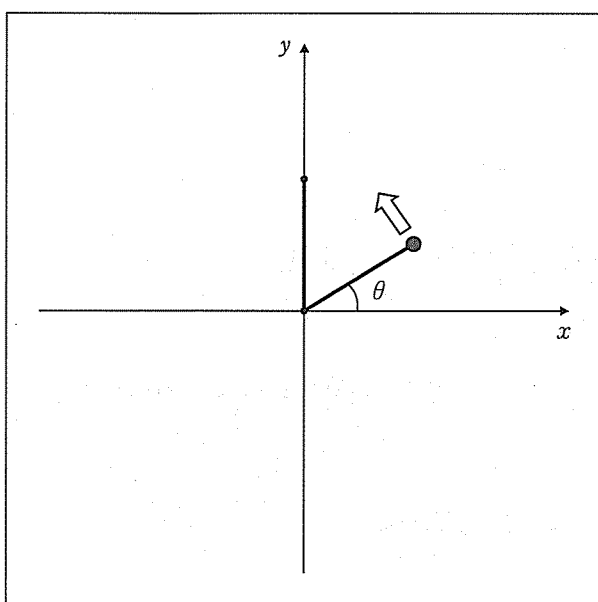


図 3

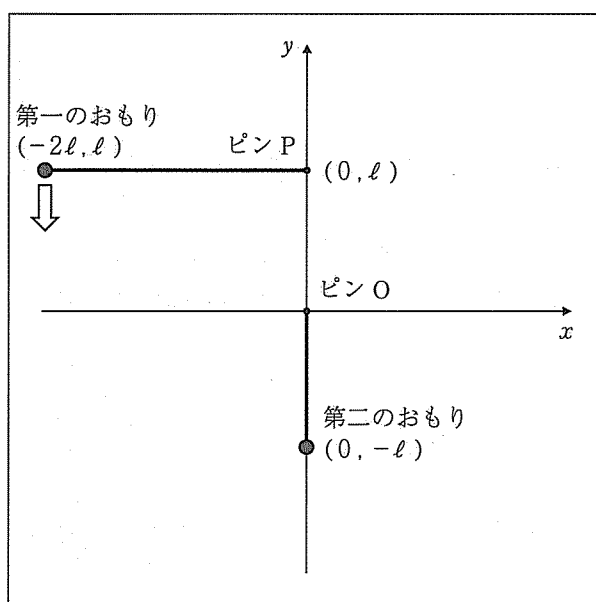


図 4

物理（記述解答問題）

〔Ⅲ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図1のように、水平な面上に2本の直線レールが間隔 ℓ で平行に固定されており、その上に質量 M の金属棒がレールと垂直に置かれている。水平面には垂直方向（紙面の裏から表の向き）に磁束密度の大きさ B の一様な磁場がかかっている。レールは十分長く、金属棒は常にレールと垂直を保ったままレール上を滑らかに運動できる。図1に示すように、レールには抵抗値 R の抵抗が接続されており、レールに沿って右向きを x 軸の正の向き、金属棒に沿った方向で紙面上方を y 軸の正の向き、水平面に垂直で紙面の裏から表の向きを z 軸の正の向きとする。レールや金属棒の電気抵抗および摩擦は無視できるとして以下の問に答えよ。

まず金属棒をレール上に静止させた状態でレールの左端に起電力 E の電源を図1のように接続したところ、金属棒は動き出した。

問1 金属棒の速度が x 軸方向に v であったとき、回路に流れる電流はいくらか。ただし電流は金属棒を y 軸正方向に流れる向きを正とする。

問2 このとき金属棒に働く力の x 成分 F はいくらか。

問3 十分時間が経つと金属棒は一定の速度 v_0 となった。 v_0 を求めよ。

金属棒が一定の速度 v_0 で運動しているとき、左端の電源を取り外し、代わりに充電されていないコンデンサーを接続した（図2）。コンデンサーの容量を C とする。

問4 コンデンサーの接続直後、回路に流れる電流はいくらか。金属棒を y 軸正方向に流れる電流を正とし、 v_0 を用いて答えよ。

電流が流れ始めるとコンデンサーの極板には電荷が蓄えられることになる。

問5 微小時間間隔 Δt においてコンデンサーの上側の極板 a に帯電している電気量が ΔQ だけ増加したとする。この時間間隔において流れる電流は一定とみなして、この間に金属棒が受けた力積 $F \Delta t$ を ΔQ 、 ℓ 、 B だけを用いて表せ。

回路に流れる電流は時間とともに変化し、コンデンサーに蓄えられる電気量も変化するが、コンデンサーの上側の極板 a に帯電している電気量が 0 から Q となる間に金属棒が受けた力積は、問5の ΔQ を Q で置き換えることによって求まる。この力積によって金属棒の速度は変化し、十分時間が経つと一定の値 v_1 となった。

問6 金属棒の速度が一定の値 v_1 になったときにコンデンサーの極板 a に帯電している電気量はいくらか。 v_1 を用いて表せ。

問7 v_1 は v_0 の何倍となるか。ただし、 $\frac{(\ell B)^2 C}{M} = \alpha$ とし、 α のみを用いて答えよ。

問8 コンデンサーを接続してから抵抗で消費されたエネルギーはどれだけか。問7で定義した α と v_0 , M のみを用いて答えよ。

金属棒が一定の速度 v_1 となったところでコンデンサーを取り外し、コンデンサーにたまっていた電荷は保ったまま、極板を反対にして（すなわち、図2で上側の極板は下側に、下側の極板は上側に）接続した。

問9 十分時間が経つと金属棒は一定の速度 v_2 となった。 v_2 と v_1 の比を問7で定義した α のみを用いて表せ。

金属棒が一定の速度 v_2 となったところで再度コンデンサーを取り外し、極板を反対にして接続し直した。その後時間が十分経つと金属棒は一定の速度 v_3 となった。このように金属棒の速度が一定となる毎にコンデンサーの極板を反転して接続し直すことを繰り返した。コンデンサーを接続し直す直前の金属棒の速度を $v_1, v_2, v_3, \dots$ と表すことにする。

問10 n を自然数として、金属棒の速度 v_n と v_0 の比を、問7で定義した α のみを用いて表せ。

問11 極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} v_n$ を求めよ。

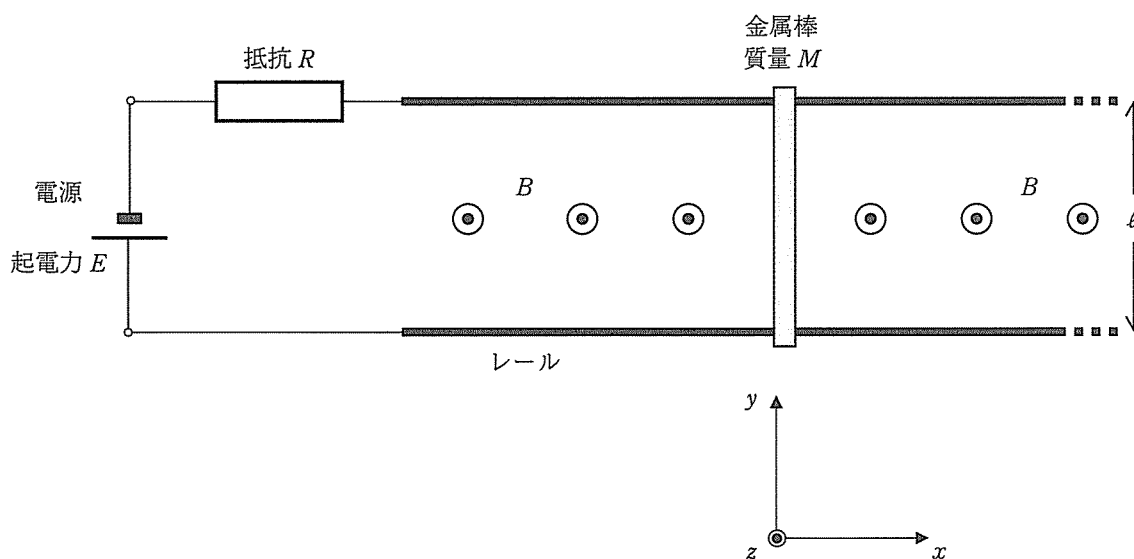


図1

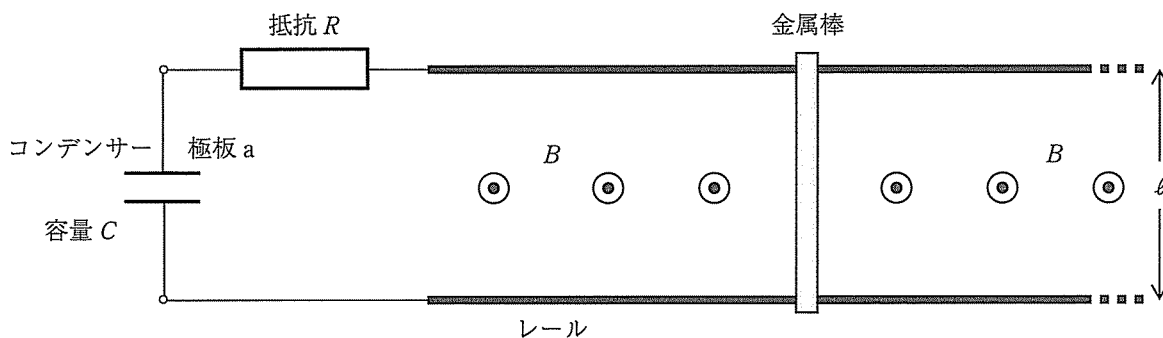


図2

