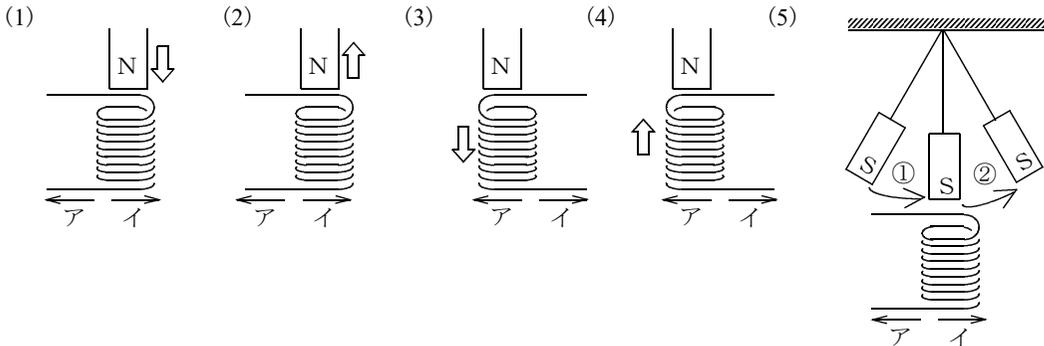


## 1 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

コイルと棒磁石を用意し、誘導電流の向きを調べた。(1)と(2)では棒磁石を太矢印の方向に動かし、コイルに近づけたり、遠ざけたりした。(3)と(4)ではコイルを太矢印の方向に動かし、棒磁石に近づけたり、遠ざけたりした。(5)では、ふりこのおもり部分を棒磁石に替えて、コイルの頭上で往復させた。コイルの(1)～(5)で流れる電流の向きを図中のア、イの記号より選び答えよ。



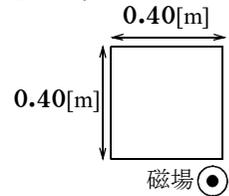
## 2 次の文章を読み、各問いに答えよ。

- (1) 磁場の強さ  $H$  の場所で磁気量  $m$  の磁荷が受ける力  $f$  は  $f=mH$  で表される。この式より [Wb] を [N], [m], [A] を用いて表せ。
- (2) 電流  $I$  の長さ  $l$  の部分が直交する磁場  $H$  から受ける電磁力  $F$  は透磁率  $\mu$  を用いて  $F=\mu H I l$  と表せる。この式より透磁率  $\mu$  の単位を [N], [A] を用いて表せ。
- (3) 磁束密度  $B$  は透磁率  $\mu$  と磁場  $H$  を用いて  $B=\mu H$  と表せる。磁束密度  $B$  の単位を [N], [m], [A] を用いて表せ。また、(1)の関係より [Wb], [m] を用いて表せ。
- (4) 磁束  $\Phi$  は磁束密度  $B$  と面積  $S$  を用いて  $\Phi=BS$  で表される。磁束  $\Phi$  の単位を [N], [m], [A] を用いて表せ。また、(1)の関係より、[Wb] を用いて表せ。
- (5) 電気量  $q$  の電荷が電場  $E$  から受ける力  $f$  は  $f=qE$  で表される。電場  $E$  の単位を [N], [C] を用いて表せ。
- (6) 時間  $\Delta t$  の間に電気量  $\Delta q$  の電気が移動すると電流  $I$  は  $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$  で表される。[C] を [A], [s] を用いて表せ。
- (7) (5)と(6)より、電場  $E$  の単位を [N], [A], [s] を用いて表せ。
- (8) 距離  $d$  離れて置かれた2つの極板間の電場が  $E$  である。このとき、極板間の電圧  $V$  は  $V=Ed$  で表される。[V] を [N], [A], [m], [s] を用いて表せ。
- (9) (4)と(8)より、磁束  $\Phi$  の単位を [V], [s] を用いて表せ。
- (10) ファラデーの法則で、右辺の単位が [V] になっていることを確認せよ。

### 3 次の文章を読み、各問いに答えよ。

紙面と平行に一辺が  $0.40\text{[m]}$  の正方形の形をしたコイル（抵抗  $2.0\text{[}\Omega\text{]}$ ）が固定されている。紙面裏から表向きに磁場をかけ、磁束密度の値を一定の割合で  $2.0\text{[s]}$  間かけて  $4.0\text{[Wb/m}^2\text{]}$  増加させた。

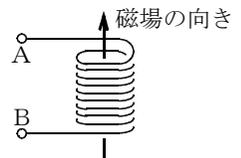
- (1) コイルを貫く磁束の変化量を求めよ。
- (2) コイルに生じる誘導起電力の大きさを求めよ。
- (3) コイルに流れる電流の強さと向きを求めよ。
- (4) **100** 回巻きのコイルに交換した。コイルに流れる電流の強さを求めよ。
- (5) コイルの各辺が受ける力の向きを求めよ。



### 4 次の文章を読み、各問いに答えよ。

断面積  $S\text{[m}^2\text{]}$ 、単位長さ当たりの巻き数  $n\text{[1/m]}$ 、長さ  $l\text{[m]}$  のソレノイドコイルに、図の矢印の向きに磁場をかけ、磁束密度の値を一定の割合で  $\Delta t\text{[s]}$  間かけて  $\Delta B\text{[Wb/m}^2\text{]}$  ( $\Delta t, \Delta B > 0$ ) 増加させた。

- (1) コイルを貫く磁束の変化量を求めよ。
- (2) コイルに生じる誘導起電力の大きさを求めよ。
- (3) A, B の電位はどちらの方が高いか。



### 5 次の文章を読み、各問いに答えよ。

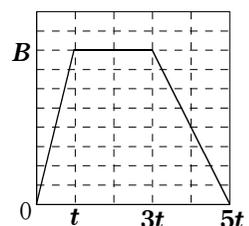
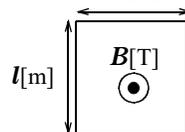
紙面と平行に一辺が  $l\text{[m]}$  の正方形のしたコイルが固定されている。紙面裏から表向きに磁場をかけ、その値を変えた。このときの様子を、縦軸を磁束密度、横軸を時間にして表したグラフがある。ただし、磁束密度は紙面の裏から表向きを正とする。

- (1)  $0 \sim t\text{[s]}$ ,  $t \sim 3t\text{[s]}$ ,  $3t \sim 5t\text{[s]}$  の各区間で、コイルに流れる電流の向きを以下から選び、答えよ。

時計回り    反時計回り    流れない

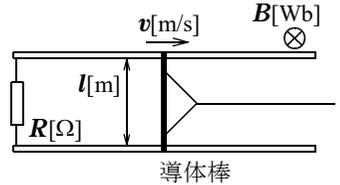
- (2) 縦軸をコイルを貫く磁束、横軸を時間としたグラフをかけ。ただし、紙面裏から表向きの磁束を正とする。

- (3) 縦軸をコイルに生じる起電力、横軸を時間としたグラフをかけ。ただし、図の反時計回りに誘導電流を流そうとする起電力を正とする。



6 次の文章を読み、各問いに答えよ。

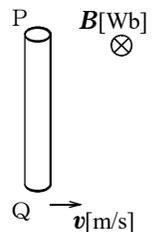
紙面表から裏向きの磁束密度  $B[\text{Wb/m}^2]$  の磁場中に 2 本のレールが  $l[\text{m}]$  離れて平行に置かれている。レールの端には抵抗  $R[\Omega]$  がつなぐれ、レール上には導体棒がレールに垂直に置かれなめらかに動けるようになっている。この導体棒に糸をとりつけ一定の速さ  $v[\text{m/s}]$  で図中の右向きに引き続けた。ただし、導体棒とレールの抵抗は無視できる。



- (1) 導体棒に生じる誘導起電力を求めよ。
- (2) 誘導電流が流れる向きを求めよ。
- (3) 回路に流れる電流を求めよ。
- (4) 導体棒が磁場から受ける力を求めよ。
- (5) 一定の速さで動かし続けるために、導体棒に外部から加えなければならない力を求めよ。
- (6) (5)の力がする仕事率を求めよ。
- (7) (6)の仕事はどこに供給されるか。

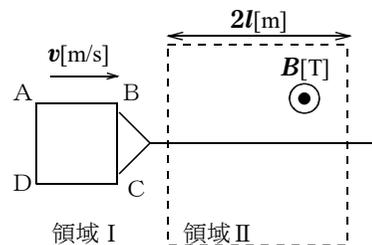
7 次の文章を読み、各問いに答えよ。

紙面表から裏向きの磁束密度  $B[\text{Wb/m}^2]$  の磁場中で長さ  $l[\text{m}]$  の導体棒 P Q を一定の速さ  $v[\text{m/s}]$  で移動させた。電気素量を  $e[\text{c}]$  とすると、導体棒内の自由電子には大きさ ( 1 )  $[\text{N}]$  のローレンツ力が ( 2 : P → Q, Q → P ) の方向に働く。この移動により、P の方が電位が ( 3 : 高く, 低く ) なるため、( 4 : P → Q, Q → P ) の方向に電場が生じる。最終的には、電場から受ける力とローレンツ力が等しくなる。これより、P Q 間の電場は ( 5 )  $[\text{N/m}]$ 、電圧は ( 6 )  $[\text{V}]$  と求まる。



8 次の文章を読み、各問いに答えよ。

磁場が生じていない領域 I と紙面裏から表向きに磁束密度  $B[\text{Wb/m}^2]$  の磁場が生じている一辺  $2l[\text{m}]$  の正方形の領域 II がある。この領域中を一辺  $l[\text{m}]$  のコイル A B C D (抵抗  $R[\Omega]$ ) に糸をつけ引っ張り、一定の速さ  $v[\text{m/s}]$  で通過させる。辺 B C が領域 II に入った瞬間を時刻  $0[\text{s}]$  とする。

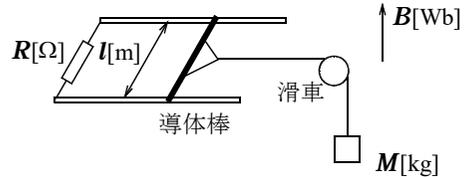


- (1) コイルを貫く磁束を縦軸、時間を横軸としたグラフをかけ。ただし、紙面裏から表向きの磁束を正とする。
- (2) コイルに生じる誘導起電力を縦軸、時間を横軸としたグラフをかけ。ただし、コイルの時計回りに電流を流そうとする起電力を正とする。
- (3) コイルに流れる誘導電流を縦軸、時間を横軸としたグラフをかけ。ただし、コイルの時計回りを正とする。
- (4) コイルに働く電磁力の合力を縦軸、時間を横軸としたグラフをかけ。ただし、紙面右向きを正とする。

9 次の文章を読み、各問いに答えよ。

鉛直上向きの一様な磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] の磁場内に 2 本の導線レールが  $l$  [m] の間隔で水平に置かれている。レールの端には抵抗  $R$  [Ω] がつながれ、レール上には質量  $m$  [kg] の導体棒がレールに垂直に置かれ、なめらかに動けるようになっていいる。この導体棒にとりつけた糸を滑車にかけ、糸の他端には質量  $M$  [kg] のおもりをとりつけると導体棒は滑り始めた。十分時間が経過すると、導体棒は最終的に一定の速さ  $v$  [m/s] になった。ただし、導体棒とレールの抵抗は無視でき、導体棒がレールから落ちることは考えなくてよい。

- (1) 導体棒に生じる誘導起電力を求めよ。
- (2) 導体棒に働く電磁力の大きさを求めよ。
- (3)  $v$  を  $B, l, M, g, R$  を用いて表せ。
- (4) 抵抗で発生する単位時間当たりのジュール熱を求めよ。
- (5) (4) のジュール熱はどこから供給されたものか。また、それが (4) に等しいことを証明せよ。
- (6) 導体棒が一定の速さ  $v$  になるまでを考える。導体棒の速さを  $v'$  として、導体棒に生じる加速度を求めよ。



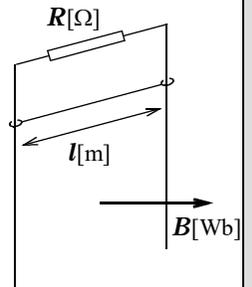
10 次の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] の磁場が水平方向に生じている空間にコの字型の導体レール (抵抗  $R$  [Ω]) が鉛直に置かれている。このレールに両端が輪になっている長さ  $l$  [m]、質量  $m$  [kg] の導体棒を通した。この導体棒を持ち上げ、ある高さから落としたところ、初めは速度が大きくなっていったが、最後には一定の速さで落下するようになった。ただし、導体棒とレールの間の摩擦、抵抗は無視でき、導体棒が地面に落ちることは考えなくてよい。

- (1) 導体棒を落とした瞬間の導体棒の加速度を求めよ。
- (2) 導体棒の速さが  $v$  [m/s] のとき、導体棒に働く合力を求めよ。
- (3) (2) のとき、導体棒に生じる加速度を求めよ。
- (4) 下線部について、このときの速さを求めよ。

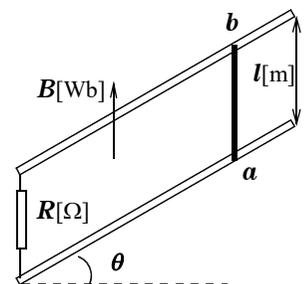
以後の問題では速さが一定になった後の運動のみを考える。この速さを  $V$  [m/s] として答えよ。

- (5) 重力が単位時間当たりにする仕事 (仕事率) を  $m, g, V$  を用いて表せ。
- (6) 抵抗で単位時間当たり発生するジュール熱を  $m, g, V$  を用いて表せ。



11 次の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

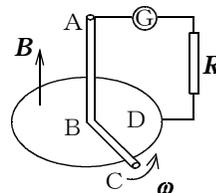
図のような 2 本のレール、導線、 $R$  [Ω] の抵抗、導体棒を使って図のような回路を作った。 $l$  [m] 離れて置かれた 2 本のレールの面の水平面からの仰角は  $\theta$  である。鉛直上向きの一様な磁束密度  $B$  [Wb] の磁場の中、質量  $m$  [kg] の導体棒をレール上に置き静かに離れたところ、レールに沿って滑り落ち始めた。導体棒の速さが  $v$  [m/s] のとき、誘導起電力の大きさは ( 1 ) なので、導体棒に流れる電流は ( 2 :  $a \rightarrow b, b \rightarrow a$  ) に ( 3 ) [A] となる。これより、導体棒に働く電磁力の大きさが ( 4 )、垂直抗力の大きさが ( 5 ) と求まる。さらに運動方程式を立てると、導体棒に生じる加速度は ( 6 ) [m/s<sup>2</sup>] となり、速さが大きくなるにつれて加速度が ( 7 : 大きく, 小さく ) なり、最後には一定の速さ ( 8 ) [m/s] で進むようになる。



## 12 次の文章を読み、各問いに答えよ。

鉛直上向きの一様な磁束密度  $B[\text{Wb/m}^2]$  の磁場内に半径  $l[\text{m}]$  のコイルが水平に置かれている。このコイルの上をL字型の導体棒  $ABC$  が  $AB$  を軸に回転できるようになっている。また、 $R[\Omega]$  の抵抗と検流計が導体棒の点  $A$  とコイル上の点  $D$  との間で導線で直列につながれている。導体棒を角速度  $\omega[\text{rad/s}]$  で回転させると、回路  $ABCD$  に電流が流れた。ただし、導体棒とコイルとの間の摩擦、また導体棒やコイル、検流計の抵抗は無視できるものとする。

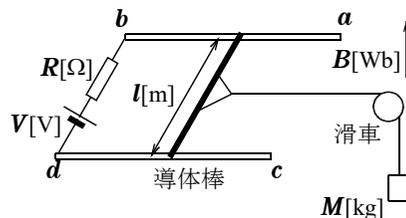
- (1) 導体棒  $BC$  が単位時間当たりにコイル上を通過する面積を求めよ。
- (2) 導体棒に生じる誘導起電力の大きさを求めよ。
- (3) 検流計に流れる電流の強さと向きを求めよ。
- (4) 抵抗で単位時間当たりに発生するジュール熱を求めよ。
- (5) 導体棒  $BC$  に生じる電磁力の強さを求めよ。
- (6) 導体棒を同じ角速度で回転させ続けるために、外部から単位時間当たりに加える仕事を求めよ。



## 13 次の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、重力加速度を $g[\text{m/s}^2]$ とする。

鉛直上向きの一様な磁束密度  $B[\text{Wb/m}^2]$  の磁場内に導線レール  $ab$  と  $cd$  が  $l[\text{m}]$  の間隔で水平に置かれている。 $R[\Omega]$  の抵抗、起電力  $V[\text{V}]$  の電池と導線で  $bd$  間をつなぎ、レール上に質量  $m[\text{kg}]$  の導体棒をレールに垂直に置いた。この導体棒にとりつけた糸を滑車にかけ、糸の他端には質量  $M[\text{kg}]$  のおもりをとりつけた。十分時間経過後、導体棒は図の左向きに一定の速さ  $v[\text{m/s}]$  で進んでいた。ただし、導体棒とレールの抵抗は無視でき、導体棒がレールから落ちることは考えなくてよい。

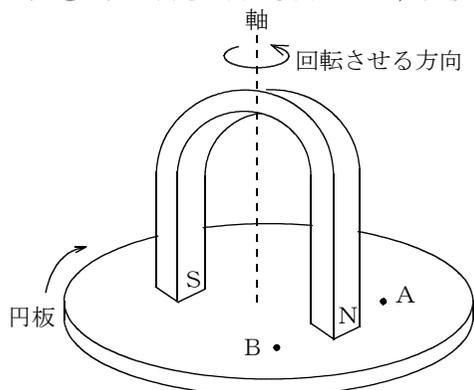
- (1) 導体棒に流れる電流  $I[\text{A}]$  を求めよ。
- 以下、解答に  $I$  を用いても構わない。
- (2) 単位時間当たりに電池がする仕事を求めよ。
  - (3) 単位時間当たりに抵抗で発生するジュール熱を求めよ。
  - (4) (2) - (3) を  $M, g, v$  を用いて表せ。
  - (5) (4) が表すものは何か。



## 14 次の文章を読み、空欄に適切な語句を後の解答群より選び答えよ。また、後の問に答えよ。

図のように軽くて薄い銅製の円板が水平面上で自由に回転できるようになっている。その上部にはU字形永久磁石があり、円板の軸と一致した軸上で、円板と少しの間隔をおいて回転できるようになっている。

はじめ、両方とも止まっていて、磁石を矢印の方向に急に回転させると、円板には回転に伴う磁場変化を ( ① ) ような ( ② ) 電流が流れる。特にこの場合、N極が近づく円板上の点  $A$  では上から見て ( ③ ) の向きにまたN極が遠ざかる点  $B$  では ( ④ ) の向きに、それぞれ ( ⑤ ) の電流を生ずる。それゆえ、N極の真下の円板では円板の ( ⑥ ) 向きに ( ② ) 電流を生ずる。この電流がN極の磁場から ( ⑦ ) の向きに力を受けるので、円板は磁石の回転と ( ⑧ ) 向きに回転を始めた。



《解答群》

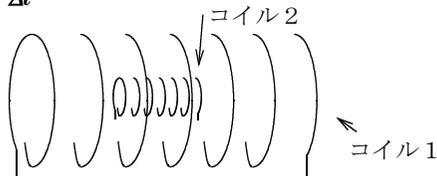
波状	渦状	放射状	伝導	誘導
周辺から中心に向かう		中心から周辺に向かう		
同じ	反対	妨げる	助ける	
時計回り	反時計回り	A→B	B→A	

問 下線部について、この法則を何というか。

**15** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

図のような断面積  $S[m^2]$ 、長さ  $l[m]$ 、単位長さ当たりの巻き数  $n[m]$  のソレノイドコイル1がある。このコイル1に電流を流すと、電流値が  $i[A]$  のとき、コイル1の内部には強さ ( 1 )  $[A/m]$  の磁場が生じる。空気の透磁率を  $\mu[N/A^2]$  とすると、コイル1には強さ ( 2 )  $[Wb/m^2]$  の磁束密度、強さ ( 3 )  $[Wb]$  の磁束が生じていることになる。コイル1に流れる電流値が  $i[A]$  から  $\Delta i[A]$  増えて  $i+\Delta i[A]$  になると、コイル1を貫く磁束の変化は ( 4 ) となる。ファラデーの法則よりコイル1には  $-( 5 ) \times \frac{\Delta i}{\Delta t} [V]$  の誘導起電力が生じ、これを自己誘導による起電力という。( 5 ) を ( 6 ) といい、単位は ( 7 ) で表す。

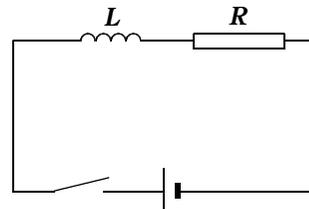
次に、断面積  $D[m^2]$ 、長さ  $l'[m]$ 、単位長さ当たりの巻き数  $n'[m]$  のソレノイドコイル2をコイル1の内部に入れる。コイル1に流れる電流値が  $i[A]$  から  $\Delta i[A]$  増えて  $i+\Delta i[A]$  になると、コイル2を貫く磁束の変化は ( 8 ) となる。これより、コイル2には  $-( 9 ) \times \frac{\Delta i}{\Delta t} [V]$  の誘導起電力が生じ、これを相互誘導による起電力という。( 9 ) を ( 10 ) という。



**16** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

図のような、自己インダクタンス  $L[H]$  のコイル、起電力  $E[V]$  の電池、 $R[\Omega]$  の抵抗、そして、スイッチからなる回路がある。スイッチをつなぎ電流を流し始めた。時間が経つと電流値が増え、ある時刻では  $\Delta t[s]$  間で電流値が  $i$  から  $i+\Delta i$  に増えた。また、最終的には一定の電流  $I[A]$  が流れるようになった。

- (1) ある時刻での回路についてキルヒホッフの第2法則を立てよ。
- (2) ある時刻から  $\Delta t[s]$  経過するまでに、コイルに電流を流すのにした仕事  $\Delta W[J]$  を求めよ。
- (3) 回路に一定の電流が流れるまでにコイルに対してした仕事を求めよ。
- (4) 回路に一定の電流が流れているとき回路に流れる電流の強さ求めよ。



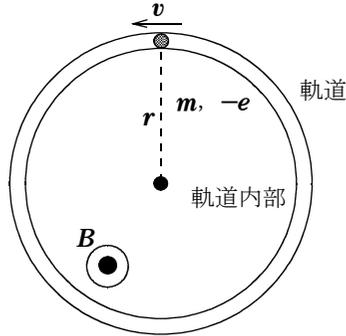
## 【チャレンジ問題】

**17** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

紙面裏から表向きに磁束密度  $B$  の磁場が生じている平面内で、質量  $m$ 、電気量  $-e$  の電子が半径  $r$  で反時計回りに円運動している。電子の速さを  $v$  とし運動方程式を立てると ( 1 ) となり、 $v =$  ( 2 ) と求まり、運動量  $p$  は  $p =$  ( 3 )  $\times B$  と表せる。

ここで、時間  $\Delta t$  の間に、電子の軌道より内側の部分にかかる磁束密度を  $\Delta B_0$  だけ増加させると、電子の軌道の上に大きさ ( 4 ) の誘導起電力が発生する。この起電力によって、電子の軌道の上には強さ ( 5 ) の電場が生じるので、時間  $\Delta t$  の間に、電子はこの電場から大きさ ( 6 ) の力積を受ける。

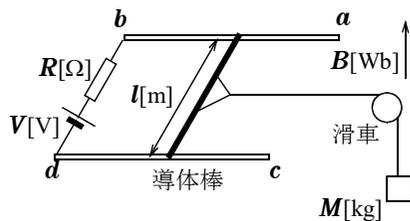
以上より、電子は起動内部の磁場を変化させることで加速されることが分かった。電子が加速されると、磁束密度が一定のもとで、軌道半径は ( 7 : 大きく, 小さく ) なる。軌道上の磁束密度を軌道内部と同じ量  $\Delta B_0$  だけ増加させると軌道半径  $r'$  は  $\Delta B_0$ ,  $B$ ,  $r$  を用いて  $=$  ( 8 ) となる。したがって、このままでは軌道半径は ( 9 : 大きく, 小さく ) なる。軌道半径を一定に保つためには、軌道上の磁束密度の変化  $\Delta B$  が軌道内部の磁束変化  $\Delta B_0$  に対して、 $\Delta B =$  ( 10 )  $\times \Delta B_0$  という関係が満たしながら変化させないといけない。



**18** 次の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、重力加速度を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。

鉛直上向きの一様な磁束密度  $B$  [Wb] の磁場内に導線レール  $ab$  と  $cd$  が  $l$  [m] の間隔で水平に置かれている。 $bd$  間を  $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗と起電力  $V$  [V] の電池でつなぎ、レール上に質量  $m$  [kg] の導体棒をレールに垂直に置いた。この導体棒にとりつけた糸を滑車にかけ、糸の他端には質量  $M$  [kg] のおもりをとりつけた。とりつけた後、導体棒はレール上を滑り始めた。ただし、導体棒とレールの抵抗は無視でき、導体棒がレールから落ちることは考えなくてよい。また、導体棒とレールの間の摩擦も無視できるものとする。

十分時間経過後、導体棒は図の左向きに一定の速さ  $v$  [m/s] で進んでいた。



- (1) 電流を流し始めた瞬間、導体棒を流れる電流の強さを求めよ。
- (2) 導体棒の速さが  $v$  [m/s] のとき、導体棒に流れる電流の強さと向きを求めよ。
- (3) 導体棒の速さを  $v$  [m/s]、加速度を  $a$  [m/s<sup>2</sup>]、糸の張力を  $T$  [N] として、導体棒と物体について運動方程式を立てよ。
- (4) 導体棒の加速度を  $m$ ,  $M$ ,  $g$ ,  $R$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $l$ ,  $v$  を用いて表せ。
- (5) 導体棒の速さを縦軸、回路に電流が流れ始めてからの時間を横軸にしたグラフを描け。ただし、速度の主要な値についてはグラフ中に記入すること。