

物理・化学 (問題)

2020 年度

〈R02140017〉

注 意 事 項

1. この問題用紙には、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 (別冊配布)
A	○	○	×
B	○	×	○
C	×	○	○

2. 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布します。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。
3. 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。
4. 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・乱丁及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。
5. 解答はすべて、H B の黒鉛筆または H B のシャープペンシルで記入してください。
6. マーク解答用紙記入上の注意

- (1) 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。
- (2) マーク欄にははっきりとマークすること。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

7. 記述解答用紙記入上の注意

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- (4) 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。

(例) 3825 番⇒

万	千	百	十	一
	3	8	2	5

8. 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。
9. 下書きは問題用紙の余白を使用してください。
10. 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。
11. 問題用紙は持ち帰ってください。
12. 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、2本の細いスリットが間隔 d で配置されたスリット板を屈折率1の空气中におく。この2本のスリットに波長 λ のレーザー光をスリット板に対して垂直に入射する。レーザー光は平面波とみなせるものとする。このとき、スリット板に平行に配置したスクリーン上には明点がほぼ等間隔に並ぶ。スリット板とスクリーンの距離 L は、 d に比べて十分に大きいものとする。2本のスリットから等距離にある明点の中心を原点 O として、並んだ明点に沿って X 軸をとる。原点 O の位置の明点が0次回折光、 X 座標が正の側に現れる最初の明点が1次回折光、負の側に現れる最初の明点が-1次回折光であり、2次以降も同様である。図2のように、 X 軸を含みスクリーンに垂直な平面上で2本のスリットの位置をそれぞれ点 S_1 、点 S_2 とし、 S_1 と S_2 の中点を点 Q とする。以下の設問において、 $|\theta| \ll 1$ のとき $\sin \theta \cong \tan \theta \cong \theta$ および $\cos \theta \cong 1$ と近似できることを用いてよい。

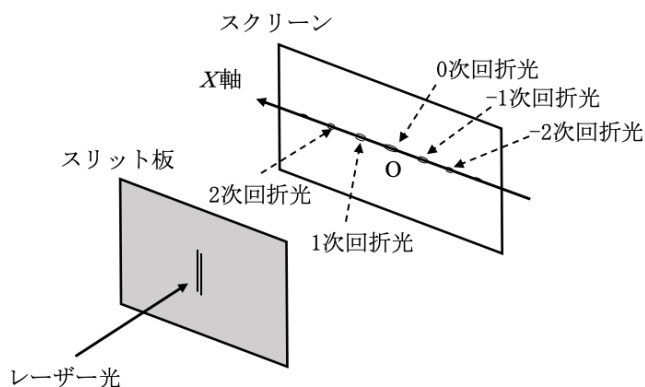


図1

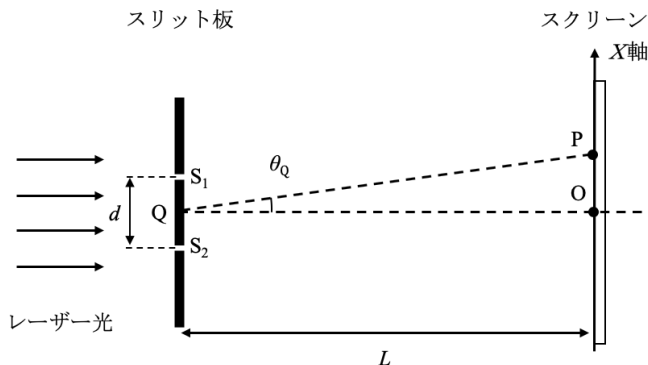


図2

問1 X 軸上の点 P の座標を x とし ($x > 0$)、線分 QO と線分 QP とのなす角を θ_Q 、 S_1 と P との距離を l_1 、 S_2 と P との距離を l_2 とする。 d が L に比べて十分に小さいため、線分 QP と線分 S_1P 、線分 S_2P は平行とみなせて、経路差 $l_2 - l_1$ は (1) となる。さらに x が L に比べて十分に小さい場合には θ_Q が十分に小さくなるため、この経路差は (2) と近似できる。 m を整数として m 次回折光による明点が現れる X 座標は (3) である。

(1)の解答群

a. $\frac{dL \cos \theta_Q}{x}$

b. $x \cos \theta_Q$

c. $L \sin \theta_Q$

d. $d \sin \theta_Q$

e. $x \sin \theta_Q$

f. $d \cos \theta_Q$

g. $\frac{dL \sin \theta_Q}{x}$

h. $L \cos \theta_Q$

(2)の解答群

a. $\frac{d^2}{x}$

b. $\frac{dx}{L}$

c. $\frac{x^2}{d}$

d. $\frac{xL}{d}$

e. $\frac{x^2}{L}$

f. d

g. $\frac{dL}{x}$

h. $\frac{d^2}{L}$

(3)の解答群

a. $-(m-1)\frac{Ld}{2\lambda}$

b. $\frac{L\lambda}{md}$

c. $-m\frac{L\lambda}{d}$

d. $(m-1)\frac{Ld}{2\lambda}$

e. $m\frac{Ld}{2\lambda}$

f. $-\frac{L\lambda}{md}$

g. $-m\frac{Ld}{2\lambda}$

h. $m\frac{L\lambda}{d}$

次に図3のようにレーザー光の入射角を角度 θ_b まで傾けていくと、明点の位置が X 軸に沿って移動した。

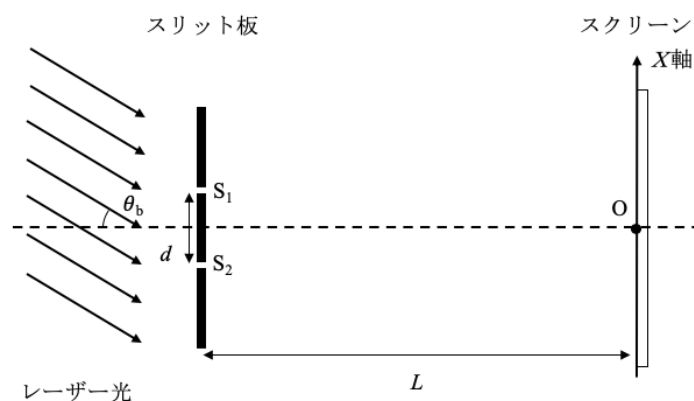


図3

問2 入射光の S_1 における位相と S_2 における位相の間には (4) の差が生じ、原点 O にあった明点 (0 次回折光) は X 座標 (5) に移動した。このとき、となりあう明点の間隔は (6) である。

(4)の解答群

- | | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|
| a. $\frac{\pi d \sin \theta_b}{\lambda}$ | b. $\frac{\pi d \cos \theta_b}{2\lambda}$ | c. $\frac{\pi d \cos \theta_b}{\lambda}$ | d. $\frac{d \cos \theta_b}{\lambda}$ |
| e. $\frac{2\pi d \sin \theta_b}{\lambda}$ | f. $\frac{2\pi d \cos \theta_b}{\lambda}$ | g. $\frac{\pi d \sin \theta_b}{2\lambda}$ | h. $\frac{d \sin \theta_b}{\lambda}$ |

(5)の解答群

- | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| a. $d \sin \theta_b$ | b. $-L \sin \theta_b$ | c. $-d \sin \theta_b$ | d. $-d \cos \theta_b$ |
| e. $-L \cos \theta_b$ | f. $d \cos \theta_b$ | g. $L \cos \theta_b$ | h. $L \sin \theta_b$ |

(6)の解答群

- | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| a. $\frac{Ld}{2\lambda} \theta_b$ | b. $\frac{L\lambda}{d} \theta_b$ | c. $\frac{Ld}{2\lambda}$ | d. $\frac{L\lambda}{d}$ |
| e. $\frac{d\lambda}{L}$ | f. $\frac{d\lambda}{L} \theta_b$ | g. $\frac{Ld}{\lambda} \theta_b$ | h. $\frac{Ld}{\lambda}$ |

屈折率 1 の空気中に 1 より大きな屈折率 n をもつ頂角 θ_n のプリズムをおく。図 4 に示すように、このプリズムの片面に垂直に波長 λ のレーザー光を入射した。以下の問では、空気とプリズムの境界面で反射する光は考えないものとする。

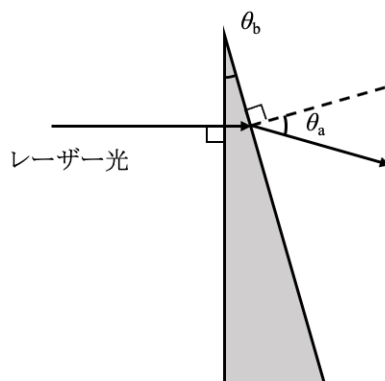


図 4

問 3 図 4 のようにプリズムから出射した光の進行方向と出射側の面の法線とのなす角を θ_a とすると、 θ_n と θ_a の関係は $\sin \theta_n = \boxed{(7)}$ である。ここで θ_n 、 θ_a が十分に小さいとすると $\theta_n = \boxed{(8)}$ となる。

(7)の解答群

- | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| a. $(n-1) \cos \theta_a$ | b. $n \sin \theta_a$ | c. $\frac{1}{n} \cos \theta_a$ | d. $\frac{1}{n-1} \sin \theta_a$ |
| e. $n \cos \theta_a$ | f. $\frac{1}{n-1} \cos \theta_a$ | g. $(n-1) \sin \theta_a$ | h. $\frac{1}{n} \sin \theta_a$ |

(8)の解答群

- | | | | |
|------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| a. $n-1$ | b. $\frac{1}{n-1}$ | c. $\frac{\theta_a}{n-1}$ | d. n |
| e. $\frac{1}{n}$ | f. $n\theta_a$ | g. $(n-1)\theta_a$ | h. $\frac{\theta_a}{n}$ |

このプリズムを図 2 のレーザー光源とスリット板の間に挿入した場合を考えよう。図 5 のように、プリズムの入射側の面がスリット板に平行になるように配置し、レーザー光を入射側の面に対して垂直に入射する。プリズムで屈折したレーザー光は入射角 θ_s でスリット板に入射し、2 本のスリットを通過するものとする。

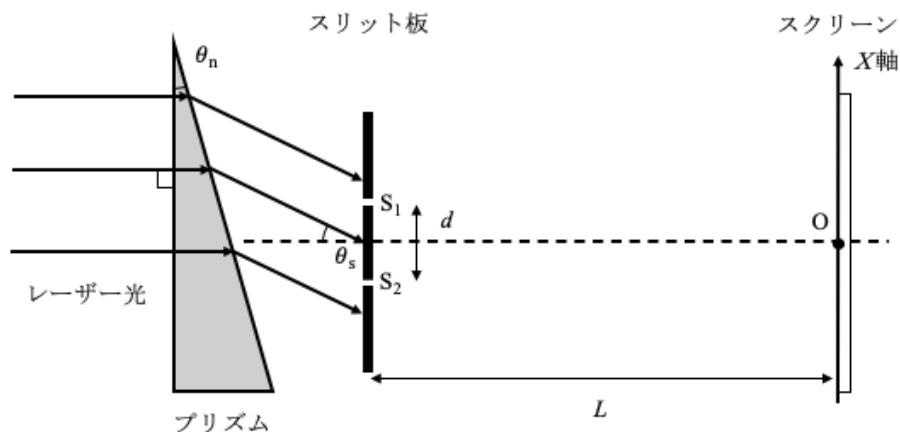


図 5

問4 このとき S_1 を通過する光に比べて S_2 を通過する光の方がプリズム内部の経路は(9)だけ長くなる。ここで θ_n , θ_s が十分に小さいとすると, θ_n と θ_s の関係は $\theta_s =$ (10) と近似でき, また, プリズム内部の経路差は(11)と近似できる。同様の近似によって, スリット板までの空気中の経路は S_1 を通過する光に比べて S_2 を通過する光の方が(12)だけ短くなる。このようにして生じた経路差からスリット板に入射する光の S_1 における位相と S_2 における位相の間には(13)の差が生じる。このとき, 図2の場合において原点 O にあった明点 (0 次回折光) は X 座標(14)に移動した。

(9)の解答群

- | | | |
|---|---|---|
| a. $\frac{d \sin \theta_n}{1 - \cos \theta_s}$ | b. $\frac{d \cos \theta_n}{1 - \cos \theta_n \cos \theta_s}$ | c. $\frac{d \cos \theta_n}{1 - \cos \theta_s}$ |
| d. $\frac{dn \cos \theta_n}{1 - \cos \theta_n \cos \theta_s}$ | e. $\frac{dn \tan \theta_n}{1 - \tan \theta_n \tan \theta_s}$ | f. $\frac{dn \cos \theta_n}{1 - \cos \theta_s}$ |
| g. $\frac{dn \sin \theta_n}{1 - \cos \theta_s}$ | h. $\frac{d \tan \theta_n}{1 - \tan \theta_n \tan \theta_s}$ | |

(10)の解答群

- | | | | |
|---------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| a. $2n\theta_n$ | b. $n\theta_n$ | c. $\frac{\theta_n}{n}$ | d. $\frac{\theta_n}{n-1}$ |
| e. $2(n-1)\theta_n$ | f. $(n-1)\theta_n$ | g. $\frac{2\theta_n}{n}$ | h. $\frac{2\theta_n}{n-1}$ |

(11)の解答群

- | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| a. $\frac{d\theta_n}{n}$ | b. $dn\theta_n$ | c. $d\theta_n$ | d. $\frac{d\theta_n}{n-1}$ |
| e. $\frac{d\theta_s}{n-1}$ | f. $n\theta_n$ | g. $dn\theta_s$ | h. $\frac{d\theta_s}{n}$ |

(12)の解答群

- | | | | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| a. $\frac{d\theta_n}{n}$ | b. $dn\theta_n$ | c. $d\theta_n$ | d. $\frac{d\theta_n}{n-1}$ |
| e. $\frac{d\theta_s}{n-1}$ | f. $n\theta_n$ | g. $dn\theta_s$ | h. $\frac{d\theta_s}{n}$ |

(13)の解答群

- | | | |
|---|---|--|
| a. $\frac{2\pi d\theta_n}{n(n-1)\lambda}$ | b. $\frac{2\pi d\theta_n}{(n+1)\lambda}$ | c. $\frac{2\pi d\theta_n}{(n-1)\lambda}$ |
| d. $\frac{2\pi n(n+1)d\theta_n}{\lambda}$ | e. $\frac{2\pi n(n-1)d\theta_n}{\lambda}$ | f. $\frac{2\pi(n+1)d\theta_n}{\lambda}$ |
| g. $\frac{2\pi(n-1)d\theta_n}{\lambda}$ | h. $\frac{2\pi d\theta_n}{n(n+1)\lambda}$ | |

(14)の解答群

- | | | | |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| a. $-(n-1)L\theta_n$ | b. $\frac{L\theta_n}{n+1}$ | c. $(n+1)L\theta_n$ | d. $nL\theta_n$ |
| e. $-(n+1)L\theta_n$ | f. $-nL\theta_n$ | g. $\frac{L\theta_n}{n-1}$ | h. $(n-1)L\theta_n$ |

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。

惑星の公転運動に成り立つ法則には、一般の物体の運動にもあてはまるものがある。まず太陽系の惑星の運動について、次の問に答えよ。図 1 に示すように、惑星が楕円軌道に沿って太陽のまわりを運動している。楕円の半長軸の長さは a 、楕円の中心と太陽との距離は ea ($0 \leq e < 1$) である。惑星が楕円軌道上の点 P を通過しているとき、惑星の面積速度は、点 P から太陽までの距離 R と、点 P と太陽を結ぶ線分に垂直な方向の惑星の速度成分の大きさ V を使って、 $\frac{1}{2}RV$ と表される。

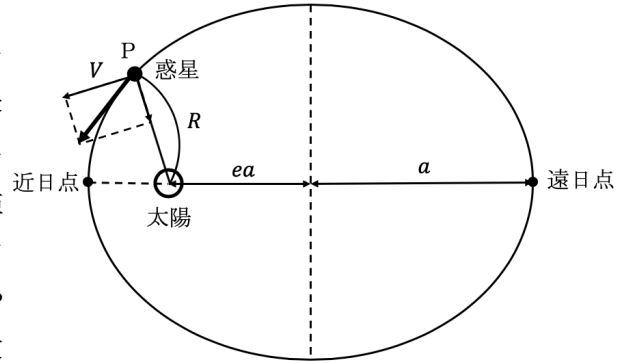


図 1

問 1 ケプラーの第 2 法則（面積速度一定の法則）に基づき、近日点での惑星の速さが遠日点での速さの何倍になるかを求めよ。

太陽の位置で常に惑星の方向を向くように回転している観測者 S を想定する。この観測者 S には、惑星に遠心力がはたらくように見える。惑星が点 P を通過するとき、 S から見た惑星にはたらく遠心力の大きさは、同じ惑星が速さ V で半径 R の等速円運動をしている場合の向心力の大きさと同じである。

問 2 観測者 S から見ると、近日点で惑星にはたらく遠心力の大きさは遠日点での値の何倍になるかを求めよ。

問 1 に用いたケプラーの第 2 法則、および**問 2** の遠心力の考え方は、物体に一点に向かう力（中心力）だけがはたらく場合の運動一般に適用できる。このことを参考に、地上で観察する物体の運動について以下の問に答えよ。ただし重力加速度の大きさは g とする。図 2 のように、小さな穴のあいた滑らかな水平台の上で、質量 $2m$ の小球が穴を中心に運動している。小球に付けられている糸は穴を通して鉛直下向きに下げられ、その先端に質量 m の小さなおもりが取り付けられている。水平台は地面に対して固定されており、台の面や穴での摩擦は無視できるほど小さい。小球とおもりの大きさ、穴の大きさ、および糸の質量は、いずれも十分小さく無視できるものとする。また糸は伸びたり縮んだり切れたりすることなく、常にぴんと張っている。この小球とおもりを観測者 A と B が見ている。観測者 A は、中心の穴の位置で常に小球の方向を向くように回転しており、観測者 B は、水平台に対して静止している。

静止している観測者 B から見て、最初、小球は一定の角速度で等速円運動をしていた。このとき中心の穴から小球までの距離は r であった。

問 3 観測者 A から見た小球にはたらく遠心力の大きさと、観測者 B から見た小球の速さをそれぞれ求めよ。

ここに質量 Δm の、大きさの無視できる小さな蜂が飛んできて、静かに（速さゼロで）おもりにとまった。蜂の質量はおもりの質量よりずっと小さい ($\Delta m \ll m$) が、力のつり合いがくずれて、おもりと蜂は鉛直下向きに動き始めた。蜂がとまる前の位置からのおもりの変位を、鉛直下向きを正として x と表す。この変位の大きさは小球の最初の円運動の半径よりずっと小さく ($|x| \ll r$)、糸は十分長いので、運動中に小球が穴の位置に到達することはない。また、おもりの運動中、蜂はおもりに対して静止したまま一体となって動くものとする。

問 4 変位が x のとき、観測者 B から見た糸に垂直な方向の小球の速さは、蜂がとまる前の何倍になるかを求めよ。ただし、蜂がとまっても小球には一点に向かう力 (中心力) だけがはたらくので、面積速度一定の法則が成り立つことに留意せよ。

問 5 変位が x のとき、観測者 A から見た小球にはたらく遠心力の大きさは、蜂がとまる前の何倍になるかを求めよ。

問 6 前問で求めた遠心力の大きさと変位の関係を、 $|x| \ll r$ であることを使って簡単な近似式で書き換えよう。一般に実数 z が $|z| \ll 1$ のとき、

$$(1+z)^n \approx 1+nz$$

という近似が成り立つ (n は任意の実数)。この近似式を使って、変位が x のとき、観測者 A から見た小球にはたらく遠心力の大きさを、 x の 1 次式で表せ。

問 7 前問で得た遠心力の表式を使って、観測者 A から見た糸に沿った方向の小球の運動方程式を、加速度を α (小球が穴に向かう向きを正とする)、糸の張力の大きさを T として、書け。また、蜂と一体となったおもりの運動方程式を α , T , m , Δm , g を用いて書け。

問 8 小球の運動方程式および蜂と一体となったおもりの運動方程式から T を消去し、加速度 α を T を含まない式で表せ。

問 9 前問で得られた加速度と変位の関係式は、糸に沿った方向の小球の運動と鉛直方向のおもりの運動を表している。

$\frac{\Delta m}{m}$ が 1 に比べて十分小さいとき、おもりの変位が時間とともにどのように変動するかを解答欄のグラフに描け。

ただし、蜂がとまった時刻を $t = 0$ とし、グラフの横軸を $\frac{t}{\sqrt{\frac{r}{g}}}$, 縦軸を $\frac{x}{\frac{\Delta m}{m}r}$ とする。あらかじめ記入されている目盛りに注意して描くこと。

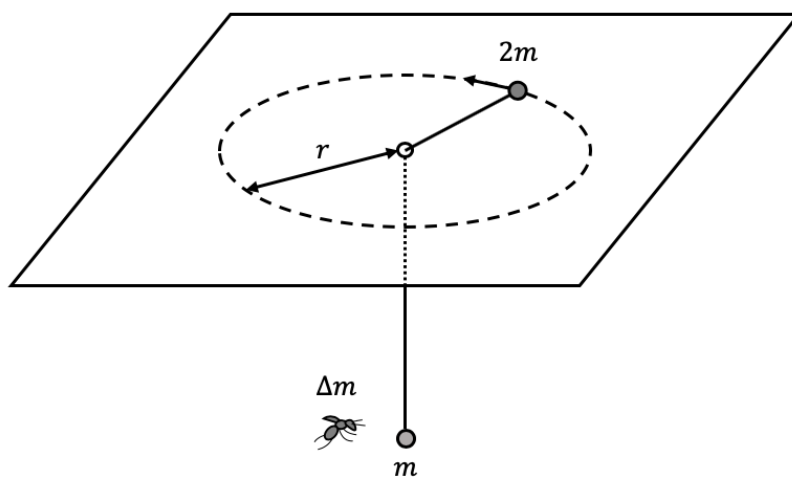


図 2

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、2 本の金属製の直線レールが水平面上で互いに平行に間隔 L 離して設置されており、その上に金属棒がレールに対して垂直に乘せられている。2 本のレールの左端はそろっており、一方のレールの左端から金属棒までの距離ともう一方のレールの左端から金属棒までの距離は等しい。それぞれのレールには単位長さあたり λ の一様な電気抵抗があるが、金属棒の電気抵抗は無視できるものとする。水平面に対して垂直な向き（紙面の裏から表の向き）に磁束密度の大きさが B の一様な磁場がかけられている。図 1 のように、2 本のレールの左端の間に起電力 E の直流電源を接続し、金属棒に大きさ F の一定の外力を左向きに加え続ける。レールと金属棒に電流が流れて金属棒はレール上を運動する。その間、金属棒はレールに対して常に垂直であり、レールは十分長くて金属棒がレールの右端に達することはない。また、レールや金属棒の太さ、金属棒とレールの間の摩擦は無視でき、レール以外の部分の電気抵抗も無視できるものとする。電流が流れることによって生じる磁場も無視できるものとする。

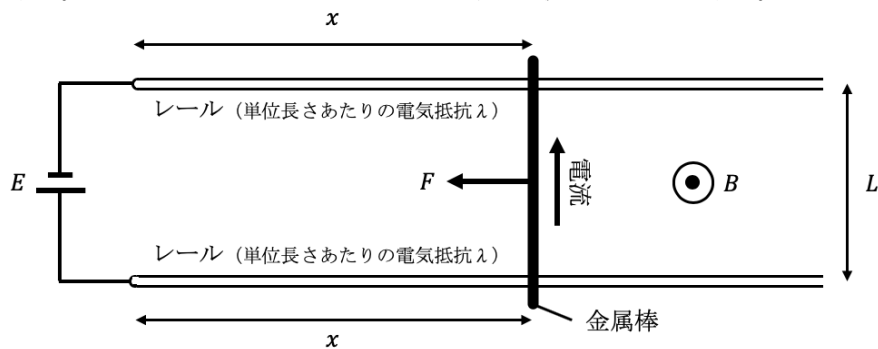


図 1

問 1 レールの左端から金属棒までの距離が x で、金属棒の速度が v のとき、金属棒に流れる電流を答えよ。ただし、速度 v は図 1 の右向きを正とし、電流は図 1 に示した向きを正とする。

問 2 前問において金属棒にはたらく力のレールに沿った方向の成分を図 1 の右向きを正として答えよ。

金属棒はやがてレール上のある位置に静止した。

問 3 レール上のどこに静止したか、レールの左端からその位置までの距離を答えよ。

問 4 この静止状態においてレールの電気抵抗で消費される単位時間あたりのエネルギーを x を含まない式で答えよ。

ここで、金属棒に左向きに加えていた外力の大きさを F からその 3 倍の大きさ $3F$ に瞬時に変えて一定に保つと、金属棒はレール上を運動してやがてレール上のある位置に静止した。

問 5 レールの左端から金属棒までの距離は、外力の大きさを変える前の静止状態における距離（問 3 の答）の何倍になるか答えよ。

問 6 外力の大きさを変える前の静止状態から、この新たな静止状態に落ち着くまでに、外力がした仕事を x を含まない式で答えよ。

次に、図 2 のように、2 本のレールの左端から距離 L のところをレールと同じ材質の直線状の金属線 (ブリッジ) でつないだ。このブリッジにも単位長さあたり λ の電気抵抗がある。金属棒に大きさ F の一定の外力を左向きに加え続けると、金属棒はレール上を運動し、やがてレール上のある位置に静止した。レールや金属棒と同じくブリッジの太さは無視でき、金属棒とブリッジの間の摩擦も無視できる。また、金属棒はブリッジの部分でも滑らかに運動できるものとする。

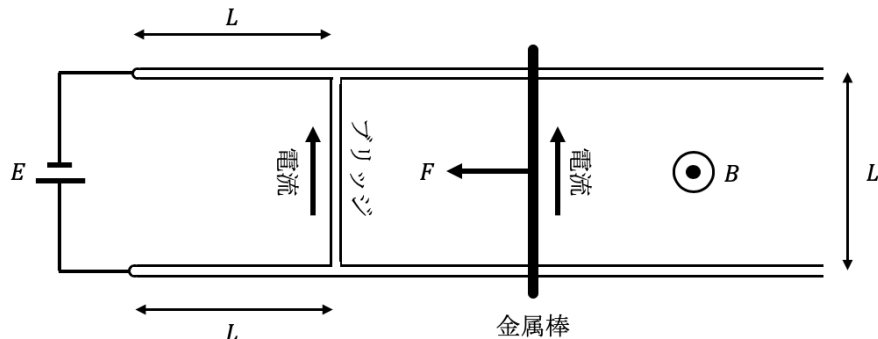


図 2

問 7 この静止状態において金属棒に流れる電流を答えよ。ただし、電流は図 2 に示した向きを正とする。

問 8 外力の大きさ F が小さく、静止状態における金属棒の位置が図 2 のようにブリッジよりも右側の場合、その静止状態においてブリッジに流れる電流は金属棒に流れる電流 (問 7 の答) の何倍か答えよ。ただし、電流は図 2 に示した向きを正とする。

この状態から金属棒に加える外力の大きさを変えてみよう。

問 9 金属棒に加える外力の大きさを大きくし、静止状態における金属棒の位置がブリッジよりも左側になる場合、その静止状態においてブリッジに流れる電流を答えよ。

問 10 静止状態における金属棒の位置がちょうどブリッジの位置になるときの外力の大きさを答えよ。

問 11 静止状態における金属棒の位置がブリッジから右側に距離 L のところになるようにするには、外力の大きさを問 10 の答の何倍にすればよいか答えよ。

化学の問題は 12～19 ページに記載されている

このページは下書きに使用してよい。

化学の問題は 12～19 ページに記載されている

このページは下書きに使用してよい。