

平成 23 年 度

試 験 問 題

理 科

(9 時 ~ 12 時)

【注 意】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中をみてはならない。
2. 試験科目、ページ、解答用紙数および選択方法は下表のとおりである。

科 目	ペー ジ	解 答 用 紙 数	選 択 方 法
化 学	1 ~ 9	2 枚	左の 3 科目のうちから 2 科目を選択せよ。
生 物	10 ~ 23	2 枚	
物 理	24 ~ 33	3 枚	

3. 監督者の指示に従って、選択しない科目を含む全解答用紙(7枚)に受験番号と選択科目を記入せよ。
 - ① 受験番号欄に受験番号を記入せよ。
 - ② 選択科目記入欄に選択する 2 科目を○印で示せ。

上記①、②の記入がないものおよび 3 科目を選択または 1 科目のみを選択した場合は答案全部を無効とする。
4. 解答はすべて解答用紙の対応する場所に記入せよ。
5. 物理を選択するものは、必要な計算等を解答用紙中の計算用余白で行え。採点の参考にする。
6. 試験開始後、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れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせよ。
7. 解答用紙はいずれのページも切り離してはならない。
8. 解答用紙は持ち帰ってはならない。問題冊子は持ち帰ってよい。

物 理

- 【1】 以下の の中に適当な数，式または説明を記入せよ．計算は表および文中に与えられた数値を用いて行い， -1.2 あるいは 3.4×10^{-5} のように，有効数字2桁で答えよ．このとき， $\pi = 3.1$ ， $\pi^2 = 9.9$ として良い．

質量 m [kg] のおもりにひもをつけて，そのひもを細い筒に通す．図1のように，筒を鉛直に保ちながら，おもりを筒のまわりに回転させ，筒の上端からおもりまでのひもの長さ r [m] が一定になるように，ひもを一定の力で下に引く．このひもの張力の大きさを F [N]，おもりの回転の周期を T [s] とする．

ひもの張力を加減し，ひもの長さを変えながら，実験を続ける．表1はひもの長さ r が一定となるときにの回転の周期 T とひもの張力の大きさ F の測定値である．

- I) ここでは，おもりにとはたらく重力は小さく，筒の上端を含む水平面内でおもりは等速円運動しているとする．すなわち，円の半径は r であり，等速円運動の速さを v [m/s]，角速度を ω [rad/s] とすると，

$$v = \boxed{\hspace{2cm} (1 \cdot 1) \hspace{2cm}}$$

である．また， ω は， T を用いて，

$$\omega = \boxed{\hspace{2cm} (1 \cdot 2) \hspace{2cm}}$$

である．

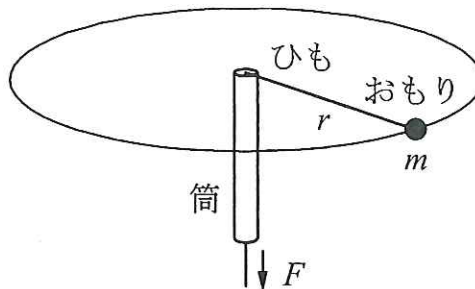


図1 筒のまわりを回転するおもり．

表1 ひもの長さ r , 回転の周期 T , ひもの張力の大きさ F の測定値.

r [m]	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
T [s]	0.01	0.04	0.09	0.16	0.25
F [N]	400.0	50.0	14.8	6.3	3.2

表1の数値より, 等速円運動の速さ v および角速度 ω は円の半径 r によって変わることが分かる. また, 円の中心とおもりを結ぶひもは扇形を描くことになり, 単位時間に描く扇形の面積が面積速度である. 等速円運動では, 面積速度の大きさ U [m^2/s] は一定であり, 周期 T で円の面積を描くので, r, ω を用いて,

$$U = \boxed{\quad (1 \cdot 3) \quad}$$

となる. この式と表1の数値より, r がいずれの場合であっても, U は

$$\boxed{\quad (1 \cdot 4) \quad} \text{m}^2/\text{s}$$

と計算される ((1・4)には, 有効数字2桁の数値を記入する). すなわち, 面積速度の大きさ U は円の半径 r に依らず一定であることが分かる.

一方, おもりにはたらくひもの張力はこの等速円運動の向心力となるが, 向心力の大きさは, r, ω を用いて,

$$\boxed{\quad (1 \cdot 5) \quad} \text{[N]}$$

である. これは F に等しいはずであり, 表1の数値より, おもりの質量 m は

$$\boxed{\quad (1 \cdot 6) \quad} \text{kg}$$

と計算される ((1・6)には, 有効数字2桁の数値を記入する). また, 等速円運動の向心力の大きさは, 表1の数値より, 円の半径 r に関しては,

$$\boxed{\quad (1 \cdot 7) \quad}$$

に比例することが分かる ((1・7)には, r^5, r^{-6} のように, r のべき乗の式を記入する). これは等速円運動の向心力の大きさが, 面積速度の大きさ U を用いて,

$$(1 \cdot 8)$$

[N]

と表され、 U が r に依らず一定であるからである。

さて、等速円運動の向心力と遠心力は混同されることがある。そこで、おもりに
はたらくひもの張力と遠心力の関係を説明すると、

$$(1 \cdot 9)$$

である((1・9)には、遠心力の説明を含めて、簡潔な説明を記入する)。

II) ここまでは、筒の上端を含む水平面内でおもりは等速円運動しているとしたが、
ここでは、おもりにはたらく重力の影響を調べよう。重力により、ひもは水平面
から角 θ [rad] だけずれるとすると、重力加速度の大きさを g [m/s²] として、

$$\sin \theta = (1 \cdot 10)$$

である。このため、等速円運動の半径は r ではなく、

$$(1 \cdot 11)$$

[m]

となる。ところが、表 1 の数値および $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ より、 θ は十分小さく、

$$\sin \theta \doteq \theta, \quad \cos \theta \doteq 1 - \frac{1}{2}\theta^2, \quad \tan \theta \doteq \theta$$

と近似できる。これらより、

$$(1 \cdot 12)$$

であり、I) の議論のように、筒の上端を含む水平面内でおもりは等速円運動して
いるとして良いことが分かる((1・12)には、表 1 の数値の中からある r の場合
を選び、 $\sin \theta$ などの有効数字 2 桁の計算を行い、その r を選んだ理由を含めて、
具体的な数値計算に基づく簡潔な説明を記入する)。

【2】 以下の の中に適当な式または語句を記入せよ。

図2のように、鉛直上向きで磁束密度の大きさが B [T] の一様な磁界中に、間隔 l [m] で平行に配置した十分長い2本の導線が、水平から θ [rad] の角度で、固定されている。2本の導線の下端には大きさ R [Ω] の電気抵抗が、そして上端には内部抵抗を無視できる起電力 V_0 [V] の電池と大きさ R の電気抵抗が、スイッチとともに、接続されている。この2本の導線の上に質量 m [kg] の導体棒を水平にのせる。ただし、重力加速度の大きさを g [m/s^2] とし、空気の抵抗、導体棒と導線の間摩擦、および上記以外の電気抵抗はすべて無視できるものとする。

I) まず、スイッチが開いている場合を考えよう。導体棒を水平にのせると、導体棒は導線に沿って下方に滑り始め、しばらくすると一定の速さ v [m/s] になった。この状態で回路に誘導される電流の向きは、導体棒に沿って、

の向きである((2・1)には、図2中の記号 a, b を用いて、向きを記入する)。

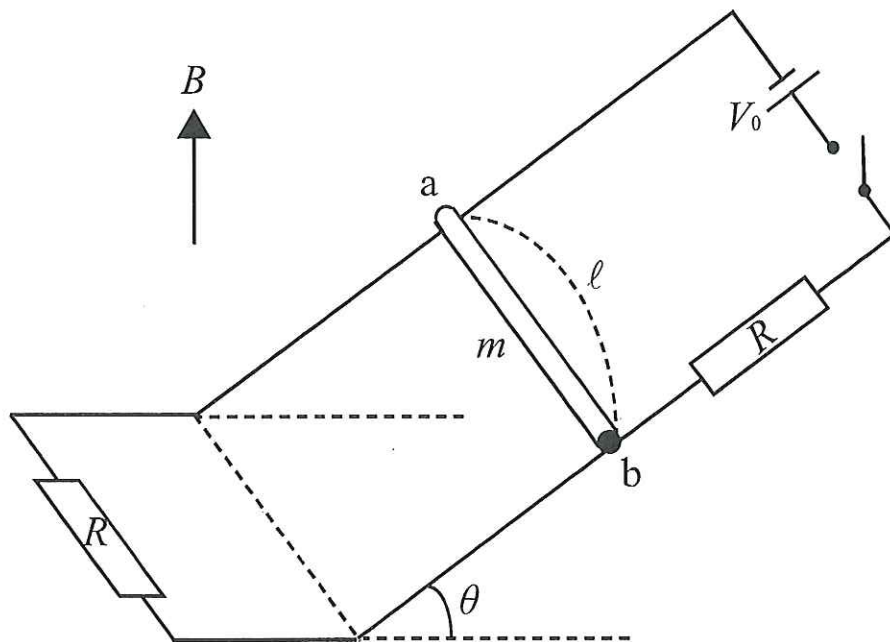


図2 2本の導線と導体棒および電気抵抗、電池とスイッチよりなる回路。

導体棒にはたらく力を考えると、導線と平行な方向の力のつりあいの式は、誘導電流の大きさを I_1 [A] として、

$$(2 \cdot 2)$$

と表される ((2・2)には、関係式を記入する)。これより、

$$I_1 = (2 \cdot 3)$$

であり、この回路の誘導起電力の大きさ V_1 [V] は、オームの法則より、

$$V_1 = (2 \cdot 4)$$

と表される ((2・4)は I_1 を用いずに表すこと)。一方、ファラデーの電磁誘導の法則より、誘導起電力の大きさはコイル(回路)を貫く磁束の単位時間あたりの変化に等しいので、

$$V_1 = (2 \cdot 5)$$

とも表される。これら (2・4) と (2・5) より、導体棒の速さ v は

$$v = (2 \cdot 6)$$

となる ((2・6)は I_1 を用いずに表すこと)。

このとき、重力が導体棒にする仕事の仕事率 W_1 [W] は

$$W_1 = (2 \cdot 7)$$

と表され ((2・7)は v を用いずに表すこと)、これは回路での

$$(2 \cdot 8)$$

と一致することから、

$$(2 \cdot 9)$$

が確認できる ((2・8), (2・9)には、それぞれ、適切な語句を記入する)。

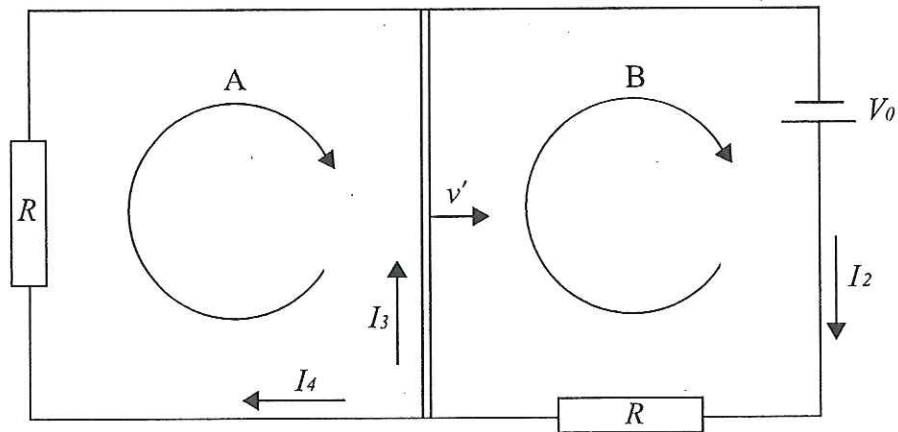


図3 スイッチが閉じている場合の回路(導線をその垂直上方から見たもの)。

II) 次に、スイッチが閉じている場合を考えよう。導体棒は導線に沿って上方に滑り始め、しばらくすると一定の速さ v' [m/s] になった。図3のように、回路を流れる電流 I_2 [A], I_3 [A], I_4 [A] を定義すると、キルヒホッフの第一法則より、

$$(2 \cdot 10)$$

が成り立つ((2・10)には、関係式を記入する)。また、キルヒホッフの第二法則より、図3中の閉じた経路(部分回路)A,Bにおいて、

$$(2 \cdot 11)$$

$$(2 \cdot 12)$$

が成り立つ((2・11)には経路A, (2・12)には経路Bについての関係式を記入する)。(2・11)と(2・12)より、 I_2, I_4 を求めることができ、導体棒にはたらく力のつりあいの式より、 I_3 を用いて(2・2)と同様の式が成り立つので、

$$v' = (2 \cdot 13)$$

が得られる((2・13)は I_2, I_3, I_4 を用いずに表すこと)。したがって、導体棒が導線に沿って上方に滑るためには、電池の起電力 V_0 に、

$$V_0 > (2 \cdot 14)$$

という条件が成り立っていないなければならない。

【3】 以下の の中に適当な数，式または記号を記入せよ．計算は文中に与えられた数値を用いて行い， -1.2 あるいは 3.4×10^{-5} のように，有効数字2桁で答えよ．なお，圧力の単位である1気圧を1 atm と表している．

I) 図4のように，スリットCから入射した波長 $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の光をレンズとスリットDで2つに分け，それぞれ同じ構造の管A,Bを通して，再びレンズでスクリーン上の点Eに集めて観測する．管A,Bの長さともに10 cm であり，管内は空気で満たされている．圧力 $P[\text{atm}]$ の気体の屈折率 n は，定数 $a[1/\text{atm}]$ を用いて， $n = 1 + aP$ のように表され，1 atm の空気の屈折率は1.00029 である．

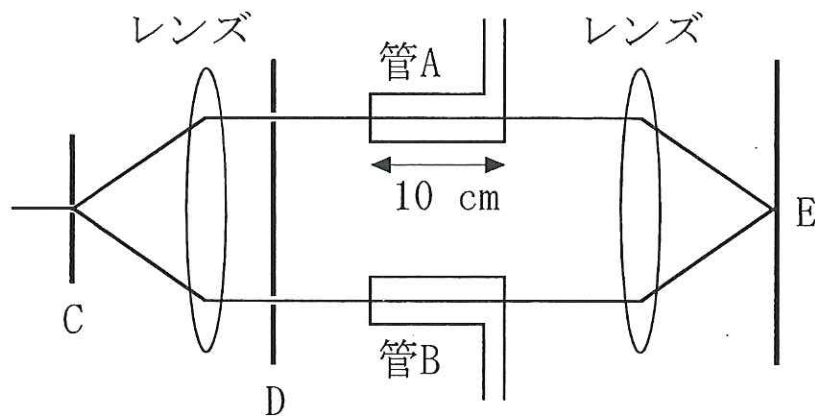


図4 スリット，レンズ，管およびスクリーン．

管A内の圧力を1 atm に保ち，管B内の圧力を1 atm から徐々に減圧したとき，E上では明暗の変化が観測された．この理由は，

- (イ) 管B内での光の波長が短くなるため
- (ロ) 管B内での光の波長が長くなるため
- (ハ) 管Bに進む際に位相が π だけずれるため

のうち，

(3・1)

である((3・1)には，適当な選択肢の記号を記入する)．

空気の屈折率 n において、定数 a は

$$\boxed{(3 \cdot 2)} \quad 1/\text{atm}$$

と計算され、明るい状態から次に明るくなるまでの間に、管 B 内の圧力は

$$\boxed{(3 \cdot 3)} \quad \text{atm}$$

だけ減少すると計算される ((3・2), (3・3)には、有効数字2桁の数値を記入する)。この観測では20回の明暗のくり返しがあったので、観測後の管 B 内の圧力は

$$\boxed{(3 \cdot 4)} \quad \text{atm}$$

と計算される ((3・4)には、有効数字2桁の数値を記入する)。

II) 図5のように、屈折率1.4のガラス板Sと屈折率1.6のガラス板Rの間に、厚さが一定の紙Tを挿入する。ガラス板Sの上方からガラス板Rに垂直に単色光を入射させ、ガラス板Sの上方から見ると、ガラス板R,Sが接する辺Oに平行に明暗の縞が観測された。これ以降、このときの明暗の縞の位置を最初の観測位置とする。また、ここでは、空気の屈折率を1として、以下の間に答えよ。

ある暗い縞について、ガラス板R上の点Pにおける反射光と、ガラス板S上の点Qにおける反射光を考える。入射光の波長を λ [m]、PQを d [m]としたとき、これらの間には、

$$\boxed{(3 \cdot 5)}$$

の関係が成り立つ((3・5)には、0または正の整数を m として、適当な関係式を記入する)。辺Oから紙Tの左端までの距離を L [m]、紙Tの厚さを ℓ [m]とすれば、隣り合う暗い縞の間隔は

$$\boxed{(3 \cdot 6)} \quad [\text{m}]$$

と表される。

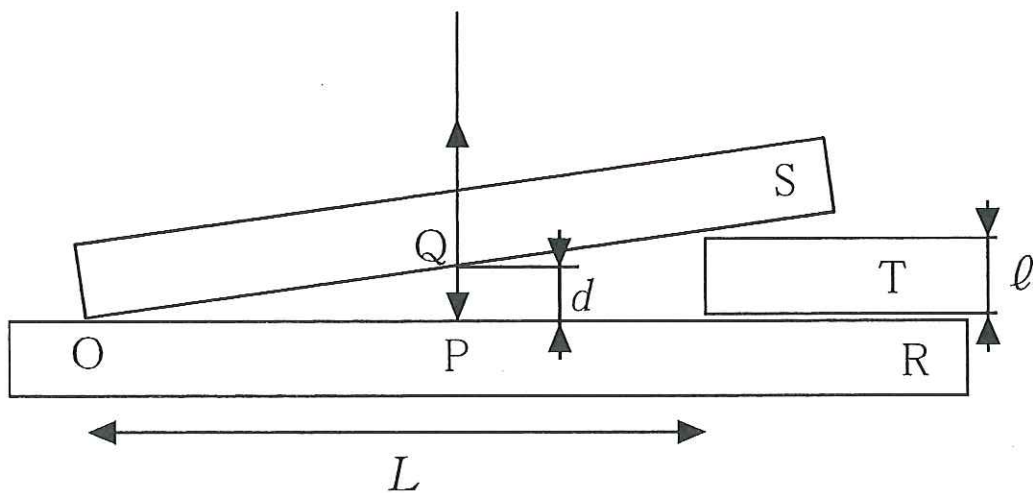


図5 ガラス板と紙.

波長 λ を $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$, 距離 L を 10 cm として観測したとき, 10 番目の暗い縞と 20 番目の暗い縞の間隔は 1.0 cm であった. これより, 紙 T の厚さ l は

(3 · 7) m

と計算される ((3 · 7) には, 有効数字 2 桁の数値を記入する). また, 同じ単色光をガラス板 R の下方から入射させてガラス板 S の上方から観測すれば, 明暗の縞は,

- (イ) 最初の観測位置 と同じ位置に現れる.
- (ロ) 最初の観測位置 とは明暗が互いに逆の位置に現れる.
- (ハ) とともに消滅する.

のうち,

(3 · 8)

となる ((3 · 8) には, 適当な選択肢の記号を記入する).

次に, ガラス板 R, S の間をある液体で満たし, 同じ単色光をガラス板 S の上方から入射させてガラス板 S の上方から観測すると, 10 番目の暗い縞と 20 番目の暗い縞の間隔は 0.66 cm になった. この液体の屈折率は

(3・9)

と計算される((3・9)には、有効数字2桁の数値を記入する)。そして、縞の間隔を元に戻すには、紙 T の位置を

(3・10)

cm

だけ移動させれば良いと計算される((3・10)には、右に移動させる場合を正として、有効数字2桁の数値を記入する)。また、紙 T を移動させた後の明暗の縞は

(3・11)

であり、紙 T を移動させた後に、同じ単色光をガラス板 R の下方から入射させてガラス板 S の上方から観測したときの明暗の縞は

(3・12)

となる((3・11)、(3・12)には、(3・8)の選択肢より適当なものを選び、その記号を記入する)。