

物 理

解答範囲は、解答番号 から までです。

I 次の文章を読んで、後の問い(問1～問8)に答えなさい。

図I-1のように、水平な床の上に密度が一定な質量 m [kg] の直方体の剛体がある。剛体の上面は一辺の長さが $2a$ [m] の正方形であり、高さは $3a$ [m] である。さらに、剛体と同じ質量 m [kg] で大きさが無視できる小球を、長さが $2a$ [m] で質量が無視できるひもで、剛体の上面の一辺の中点 A からつるした。小球は、ひもととりつけた上面の一辺に垂直な平面 ABCO 内でのみ運動する。ひもと剛体側面のなす角度を θ [rad] とする。小球がひもに鉛直に吊り下げられて静止している状態から、直線 AB と平行な向きに初速度を与えたときの、剛体と小球の運動について考える。鉛直下向きの重力加速度の大きさは g [m/s²] で、空気抵抗は考えなくてよいものとする。

図I-2は、図I-1の直方体を面 QSUW の側から見た図である。直方体の底面には垂直抗力が分布しているが、これを底面の一つの点 D にはたらく大きさ N [N] の垂直抗力で代表させる。(この力は等価集中力と呼ばれる。)

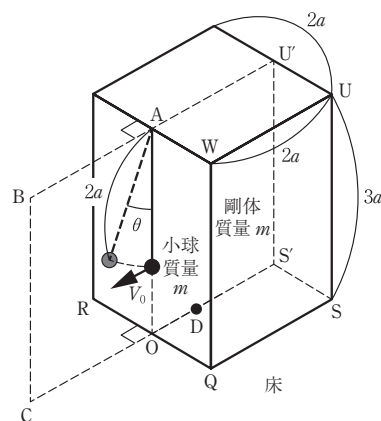


図 I - 1

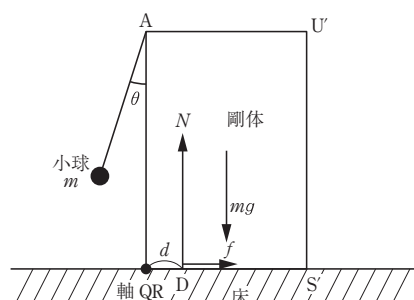


図 I - 2

(1) 剛体を床に固定した場合を考える。図I-1の角度 $\theta = 0$ [rad] において、小球に水平方向の大きさ V_0 [m/s] の初速度を与えると小球は上昇した。ひもがたるまずに小球が上昇し続けているとき、角度 θ における小球の速度の大きさ V_1 [m/s] は、力学的エネルギー保存の法則より【 1 】と求められる。小球の円運動の回転半径は $2a$ [m] であるので、そのとき小球が受ける遠心力の大きさは【 2 】[N] となる。また、このとき、ひもの張力の大きさは、【 2 】+【 3 】[N] と表される。

問1 空所【 1 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- | | |
|---|---|
| ① $\sqrt{V_0^2 + 2ga(1 - \sin \theta)}$ | ② $\sqrt{V_0^2 - 2ga(1 - \sin \theta)}$ |
| ③ $\sqrt{V_0^2 + 2ga(1 - \cos \theta)}$ | ④ $\sqrt{V_0^2 - 2ga(1 - \cos \theta)}$ |
| ⑤ $\sqrt{V_0^2 + 4ga(1 - \sin \theta)}$ | ⑥ $\sqrt{V_0^2 - 4ga(1 - \sin \theta)}$ |
| ⑦ $\sqrt{V_0^2 + 4ga(1 - \cos \theta)}$ | ⑧ $\sqrt{V_0^2 - 4ga(1 - \cos \theta)}$ |

問2 空所【 2 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ① $\frac{4mV_1^2}{a}$ | ② $\frac{2mV_1^2}{a}$ | ③ $\frac{mV_1^2}{a}$ | ④ $\frac{mV_1^2}{2a}$ | ⑤ $\frac{mV_1^2}{4a}$ |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|

問3 空所【 3 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| ① $mg \sin \theta$ | ② $mg \cos \theta$ | ③ $-mg \sin \theta$ |
| ④ $-mg \cos \theta$ | ⑤ $2mg \sin \theta$ | ⑥ $2mg \cos \theta$ |
| ⑦ $-2mg \sin \theta$ | ⑧ $-2mg \cos \theta$ | |

(2) 次に、剛体を床に固定しないで置き、剛体の底面全体が床に接している状態で剛体と床の間に静止摩擦力がはたらく場合を考える。角度 $\theta = 0$ [rad] において、小球に水平方向に初速度を与え、小球が上昇していく過程を考える。角度 θ において、ひもはたるむことなく、剛体は静止したままであった。このときのひもの張力の大きさを T [N] とすると、図 I-2 に示した床からの垂直抗力の大きさ N は【 4 】であり、床との静止摩擦力の大きさ f [N] は【 5 】に等しい。剛体の重力による軸 QR のまわりの力のモーメントの大きさは【 6 】[N・m] であり、垂直抗力 N の作用点と軸 QR までの距離を d [m] とすると、軸 QR のまわりの力のモーメントのつりあいの式は【 7 】である。軸 QR のまわりの力のモーメントの和は 0 [N・m] であるので、 d は【 8 】である。

問 4 空所【 4 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 4

- ① $mg + T \sin \theta$ ② $mg + T \cos \theta$ ③ $mg - T \sin \theta$
 ④ $mg - T \cos \theta$ ⑤ $mg + 2T \sin \theta$ ⑥ $mg + 2T \cos \theta$
 ⑦ $mg - 2T \sin \theta$ ⑧ $mg - 2T \cos \theta$

問 5 空所【 5 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 5

- ① $T \sin \theta$ ② $T \cos \theta$ ③ $2T \sin \theta$ ④ $2T \cos \theta$
 ⑤ $3T \sin \theta$ ⑥ $3T \cos \theta$ ⑦ $4T \sin \theta$ ⑧ $4T \cos \theta$

問 6 空所【 6 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 6

- ① $\frac{mga}{8}$ ② $\frac{mga}{4}$ ③ $\frac{mga}{2}$ ④ mga
 ⑤ $2mga$ ⑥ $4mga$ ⑦ $8mga$

問 7 空所【 7 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 7

- ① $【 6 】 - a \times 【 5 】 - Nd = 0$
 ② $【 6 】 - 2a \times 【 5 】 - Nd = 0$
 ③ $【 6 】 - 3a \times 【 5 】 - Nd = 0$
 ④ $【 6 】 - 4a \times 【 5 】 - Nd = 0$
 ⑤ $【 6 】 - 6a \times 【 5 】 - Nd = 0$
 ⑥ $【 6 】 - 8a \times 【 5 】 - Nd = 0$

問 8 空所【 8 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 8

- ① $\frac{(mg - T \sin \theta)a}{【 4 】}$ ② $\frac{(mg - T \cos \theta)a}{【 4 】}$
 ③ $\frac{(mg - 2T \sin \theta)a}{【 4 】}$ ④ $\frac{(mg - 2T \cos \theta)a}{【 4 】}$
 ⑤ $\frac{(mg - 3T \sin \theta)a}{【 4 】}$ ⑥ $\frac{(mg - 3T \cos \theta)a}{【 4 】}$
 ⑦ $\frac{(mg - 4T \sin \theta)a}{【 4 】}$ ⑧ $\frac{(mg - 4T \cos \theta)a}{【 4 】}$

II 次の文章を読んで、後の問い(問1～問5)に答えなさい。

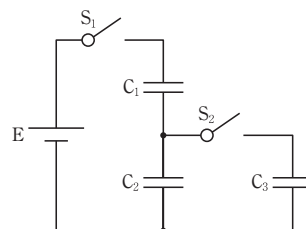


図 II-1

図 II-1 のように、平行板コンデンサー C_1 , C_2 , C_3 、電池 E がスイッチ S_1 , S_2 を介して接続されている。初期状態では、 C_1 , C_2 , C_3 の極板間は真空であり、 S_1 , S_2 は開いているものとし、3 個のコンデンサーに電荷は蓄えられてはいない。 E の電圧を E [V]、 C_1 の電気容量を C [F]、 C_2 の電気容量を $2C$ [F]、 C_3 の電気容量を $2C$ [F] とする。ただし、回路内の抵抗、および極板や誘電体の端での電場の乱れは無視できるものとする。

最初に S_1 を閉じ、十分に時間が経過したとき、 C_1 には電気量として【 9 】[C] が蓄えられている。次に S_1 を開き、その後 S_2 を閉じて十分な時間が経過すると、 C_2 には【 10 】[C]、 C_3 には【 11 】[C] が電気量として蓄えられる。次に、 S_2 を開いた後に、コンデンサー C_3 の極板面積の $\frac{1}{4}$ を満たすように、比誘電率 ϵ_r の誘電体 U を極板間にすきまなく挿入した。このときの C_3 の電気容量は【 12 】[F] となる。さらに、このときの C_3 の極板間電圧が、 U の

挿入前に比べ $\frac{1}{3}$ 倍となった。このことより比誘電率 ϵ_r は【 13 】であることがわかる。そして、再び S_1 を閉じ、十分時間が経過したときの C_1 の電気量は【 14 】[C] で、 C_2 の電気量は【 15 】[C] である。

さらに S_1 を開いた後、誘電体 U を C_3 の極板間にすきまなく挿入して、 S_2 を閉じる。十分時間が経過したときの C_3 の極板間の電位差は【 16 】[V] となる。

問 1 空所【 9 】、【 10 】、【 11 】に当てはまる最も適切なものを、次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【 9 】は、解答番号

空所【 10 】は、解答番号

空所【 11 】は、解答番号

- ① $\frac{1}{3}CE$ ② $\frac{2}{3}CE$ ③ CE ④ $2CE$
 ⑤ $\frac{1}{3E}C$ ⑥ $\frac{2}{3E}C$ ⑦ $\frac{1}{3C}E$ ⑧ $\frac{2}{3C}E$

問 2 空所【 12 】に当てはまる最も適切なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $\frac{1}{2C}\epsilon_r + \frac{3}{2}C$ ② $\frac{1}{2C}\epsilon_r + \frac{1}{2}C$ ③ $\frac{1}{2C}\epsilon_r + C$
 ④ $\frac{1}{2C}\epsilon_r + \frac{3}{2C}$ ⑤ $\frac{1}{2C}\epsilon_r + \frac{1}{2C}$ ⑥ $\epsilon_r C + \frac{1}{2}C$
 ⑦ $\frac{1}{2}\epsilon_r C + C$ ⑧ $\frac{1}{2}\epsilon_r C + \frac{3}{2}C$

問 3 空所【 13 】に当てはまる最も適切なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① 2 ② 3 ③ 4 ④ 5
 ⑤ 6 ⑥ 7 ⑦ 8 ⑧ 9

問 4 空所【 14 】、【 15 】に当てはまる最も適切なものを、次の中からそれぞれ一つずつ選びなさい。

空所【 14 】は、解答番号

空所【 15 】は、解答番号

- ① $\frac{1}{9}CE$ ② $\frac{2}{9}CE$ ③ $\frac{3}{9}CE$ ④ $\frac{4}{9}CE$
 ⑤ $\frac{5}{9}CE$ ⑥ $\frac{6}{9}CE$ ⑦ $\frac{7}{9}CE$ ⑧ $\frac{8}{9}CE$

問 5 空所【 16 】に当てはまる最も適切なものを、次の中から一つ選びなさい。

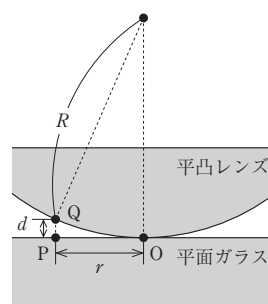
解答番号

- ① $\frac{54}{7E}$ ② $\frac{54}{7}E$ ③ $\frac{7}{54}E$ ④ $\frac{7}{54E}$
 ⑤ $\frac{180}{7E}$ ⑥ $\frac{180}{7}E$ ⑦ $\frac{7}{180}E$ ⑧ $\frac{7}{180E}$

Ⅲ 次の文章を読んで、後の問い(問 1～問 8)に答えなさい。

(1) 図Ⅲ-1のように、半径 R [m] の球面と平面からなる平凸レンズを平面ガラスの上に乗せ、上から平面に垂直に波長 λ [m] の単色光を照射した。平凸レンズの真上から観察すると、平凸レンズと平面ガラスの接点 O を中心とする同心円状の明暗の縞模様が見られた。この明るい円を明環、暗い円を暗環とよぶ。点 O からの距離が r [m] の点 P を通る平面ガラスに垂直な直線と平凸レンズの球面との交点を点 Q とし、線分 PQ の長さを d [m] とする。平面ガラス、および平凸レンズの屈折率は n_0 ($n_0 > 1$) であり、平面ガラスと平凸レンズの平面は平行である。また、平凸レンズと平面の間は空気で満たされており、空気の屈折率は 1 としてよいものとし、反射光は真上に、透過光は真下に進む場合を考える。

r が R に比べてきわめて小さい範囲において、近似式を用いて線分 PQ の長さ d を求める。 x の絶対値が 1 と比べて十分小さいときに、 $(1+x)^N \approx 1+Nx$ と近似できることから、線分 PQ の長さ d は、【 17 】と表わせる。ここで、平凸レンズの下面での反射光と平面ガラスの上面での反射光の経路差は、【18-A】である。この経路差は空气中で生じているので、光路差は、【18-B】である。また、平凸レンズの下面(点 Q)での反射における位相の変化は、【18-C】[rad] であり、平面ガラスの上面(点 P)での反射における位相の変化は、【18-D】[rad] である。よって、上から観察したときに、点 P の位置が中心から数えて m 番目の明環になるための条件は、【18-B】=【 19 】($m = 1, 2, 3, \dots$) となり、 $r =$ 【 20 】と表わせる。



図Ⅲ-1

問 1 空所【 17 】に当てはまる最も適切なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号

- ① $\frac{r^2}{R}$ ② $\frac{r^2}{2R}$ ③ $\frac{r^2}{3R}$ ④ $\frac{r^2}{4R}$
 ⑤ $\frac{R^2}{r}$ ⑥ $\frac{R^2}{2r}$ ⑦ $\frac{R^2}{3r}$ ⑧ $\frac{R^2}{4r}$

問2 空所【18-A】、【18-B】、【18-C】、【18-D】に当てはまる組合せとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 18

	【18-A】	【18-B】	【18-C】	【18-D】
①	d	d	0	π
②	d	d	π	0
③	d	$2d$	0	π
④	d	$2d$	π	0
⑤	$2d$	d	0	π
⑥	$2d$	d	π	0
⑦	$2d$	$2d$	0	π
⑧	$2d$	$2d$	π	0

問3 空所【19】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 19

- ① $m\lambda$
- ② $\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$
- ③ $\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda$
- ④ $\left(m - \frac{1}{4}\right)\lambda$
- ⑤ $m\frac{\lambda}{2}$
- ⑥ $\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}$
- ⑦ $\left(m - \frac{1}{3}\right)\frac{\lambda}{2}$
- ⑧ $\left(m - \frac{1}{4}\right)\frac{\lambda}{2}$

問4 空所【20】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 20

- ① $\sqrt{m\lambda R}$
- ② $\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R}$
- ③ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda R}$
- ④ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{4}\right)\lambda R}$
- ⑤ $\sqrt{\frac{m\lambda R}{2}}$
- ⑥ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda R}{2}}$
- ⑦ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{3}\right)\frac{\lambda R}{2}}$
- ⑧ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{4}\right)\frac{\lambda R}{2}}$

(2) 次に、平凸レンズを平面ガラスからゆっくりと真上に離していったところ、明環および暗環の半径が徐々に小さくなった。平凸レンズを h [m] だけ離れたとき、平凸レンズの下面(点Q)での反射光と平面ガラスの上面(点P)での反射光の光路差は、【21-A】となるので、点Oからの距離 r' [m] において明環となる条件は、【21-A】 = 【21-B】 ($m = 1, 2, 3, \dots$) となり、 $r' =$ 【22】と表わせる。平凸レンズを離す前と同じ明環と暗環の縞模様が初めて現れたとき、平凸レンズの最下点と平面ガラスとの距離 h' [m] は、【23】と表わせる。これより、環の半径の変化を測定することで、平凸レンズと平面ガラス間の距離を知ることができることがわかる。

次に、平凸レンズをもとの位置にもどし、平凸レンズと平面ガラスの間を屈折率 n の液体で満たした。 $1 < n < n_0$ の場合は、真上から見ると、中心付近が暗い同心円状の縞模様が見られ、 $n > n_0$ の【24-A】同心円状の縞模様が見られる。そして、真下から観察すると、 $1 < n < n_0$ の場合は中心付近が【24-B】同心円状の縞模様が見られ、 $n > n_0$ の【24-C】同心円状の縞模様が見られる。

問5 空所【21-A】、【21-B】に当てはまる組合せとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 21

	【21-A】	【21-B】
①	$d + h$	$m\lambda$
②	$d + h$	$\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$
③	$d + h$	$\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda$
④	$d + h$	$\left(m - \frac{1}{4}\right)\lambda$
⑤	$2(d + h)$	$m\lambda$
⑥	$2(d + h)$	$\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$
⑦	$2(d + h)$	$\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda$
⑧	$2(d + h)$	$\left(m - \frac{1}{4}\right)\lambda$

問6 空所【 22 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 22

- ① $\sqrt{m\lambda R - hR}$ ② $\sqrt{m\lambda R - 2hR}$ ③ $\sqrt{m\lambda R - 3hR}$
- ④ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R - hR}$ ⑤ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R - 2hR}$
- ⑥ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R - 3hR}$ ⑦ $\sqrt{(m - 1)\lambda R - hR}$
- ⑧ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda R - 2hR}$ ⑨ $\sqrt{\left(m - \frac{1}{3}\right)\lambda R - 3hR}$

問7 空所【 23 】に当てはまる最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 23

- ① $\frac{1}{9}\lambda$ ② $\frac{1}{8}\lambda$ ③ $\frac{1}{7}\lambda$ ④ $\frac{1}{6}\lambda$
- ⑤ $\frac{1}{5}\lambda$ ⑥ $\frac{1}{4\lambda}$ ⑦ $\frac{1}{3\lambda}$ ⑧ $\frac{1}{2}\lambda$

問8 空所【24-A】、【24-B】、【24-C】にあてはまる組合せとして最も適当なものを、次の中から一つ選びなさい。

解答番号 24

	【24-A】	【24-B】	【24-C】
①	場合は中心付近が明るい	明るい	場合も中心付近が明るい
②	場合は中心付近が明るい	明るい	場合は中心付近が暗い
③	場合は中心付近が明るい	暗い	場合は中心付近が明るい
④	場合は中心付近が明るい	暗い	場合も中心付近が暗い
⑤	場合も中心付近が暗い	明るい	場合も中心付近が明るい
⑥	場合も中心付近が暗い	明るい	場合は中心付近が暗い
⑦	場合も中心付近が暗い	暗い	場合は中心付近が明るい
⑧	場合も中心付近が暗い	暗い	場合も中心付近が暗い