

物 理

(問 題)

2019年度

〈2019 H31130015 (物理)〉

注 意 事 項

1. 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こと。
2. 問題は2～8ページに記載されている。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ること。
3. 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すること。
4. 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すること。
 - (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る。
 - (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、正確に丁寧に記入すること。

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」を記入しないこと。

(例) 3825番⇒	万	千	百	十	一
		3	8	2	5

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。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る。
6. 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すること。
7. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
8. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I] 図 I - 1 のように、点 O を中心とする半径 R の薄い円環（リング）が地面に対して垂直に固定されている。リングの内側と外側には滑らかな溝があり、溝の深さは半径 R に対して無視できる。ここで、リングの最上点に質量 m の小球を静かに置いた。小球はリングの溝に隙間なく収まり、大きさはリングの半径 R に比べて十分小さい。また、小球と溝の間の摩擦は無視できる。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

図 I - 1 のように、小球に水平右向きの速さ v_0 を与えたところ、小球はしばらくリングの溝に沿ってすべり、角度 θ_0 でリングを離れた。ここで、点 O を中心としてリングの最上点を 0° 、最下点を 180° として、角度 θ を図 I - 1 のように定義する。

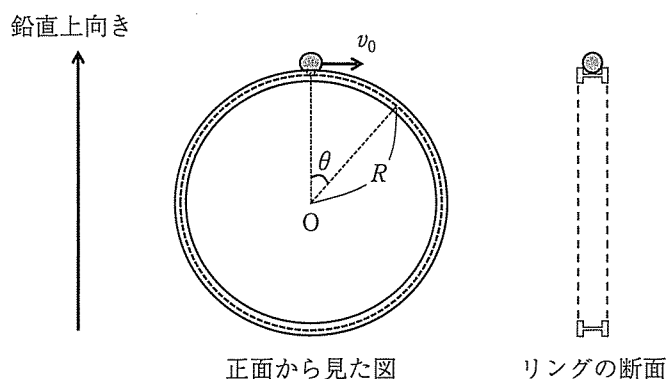


図 I - 1

問 1 小球が角度 θ ($\theta < \theta_0$) に達したときの速さ v と、小球に働く垂直抗力の大きさ N を m , v_0 , R , θ , g を用いて表せ。

問 2 $\cos \theta_0$ を v_0 , R , g を用いて表せ。

次に、小球をリングの最上点に戻し、水平右向きの速さ v_1 ($v_1 > v_0$) を与えたところ、小球はすべることなく直ちにリングを離れた。

問 3 このとき、速さ v_1 の最小値を R , g を用いて表せ。

図 I - 2 のように、リングの内側に小球を移し、最下点から水平左向きに速さ v_2 を与える。ここで、点 O を中心としてリングの最下点を 0° 、最上点を 180° として、角度 ϕ を図 I - 2 のように定義する。

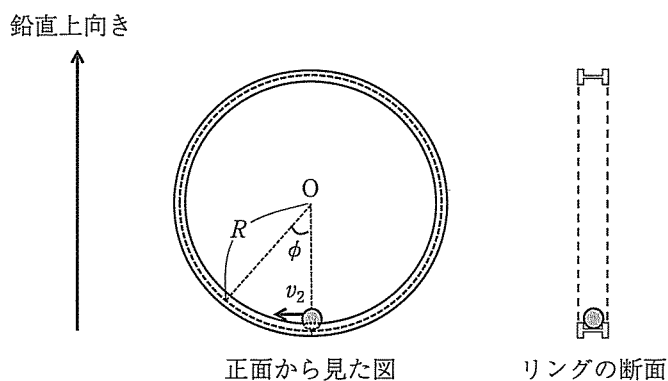


図 I - 2

問 4 小球がリングを離れずに運動している範囲で、小球が角度 ϕ に達したときの速さ v' と、小球に働く垂直抗力の大きさ N' を m , v_2 , R , ϕ , g を用いて表せ。

問 5 小球がリングを離れずに一回転して、元の最下点に戻るために必要な速さ v_2 の最小値を R , g を用いて表せ。

問 6 速さ v_2 が十分小さいとき、小球が最下点を中心に単振動した。このとき、単振動の周期 T を R , g を用いて表せ。

次に、リングの地面に対する固定を外す。そして図 I - 3 のように、リングの中心をとおり、鉛直方向を軸として角速度 ω を与えてリングを回転させた。最下点に置いた小球はリングに沿って移動をはじめ、ある角度 ϕ_0 を保ちながら軸の周りを回転した。ここで、角度 ϕ_0 の取り方は図 I - 2 と同様に定義する。

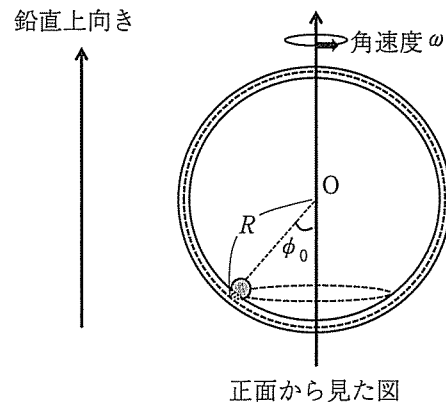


図 I - 3

問 7 $\cos \phi_0$ を R , ω , g を用いて表せ。

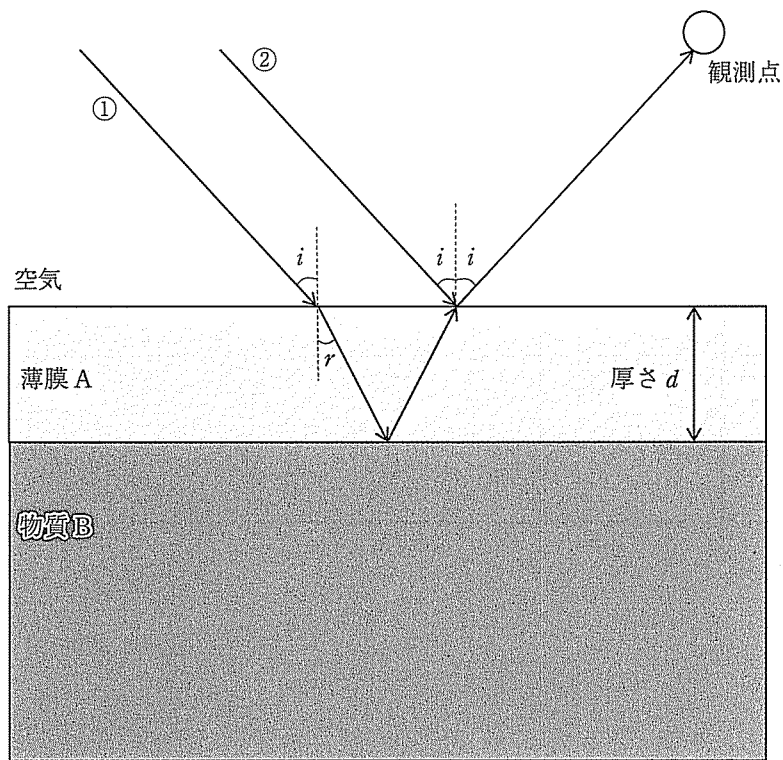
問 8 小球が静止する位置でリングから受ける垂直抗力の大きさを, m , R , ω を用いて表せ。

最後に、図 I - 3 で、小球を ϕ_0 からわずかな角度 $\Delta\phi$ だけずらし、その後の運動を観察した。小球には元に戻ろうとする大きさ $|\Delta F|$ の復元力が働き、溝に沿った方向では単振動した。

問 9 $\Delta\phi$ が ϕ_0 に対して十分に小さいとき、復元力の大きさ $|\Delta F|$ を m , R , ω , ϕ_0 , $\Delta\phi$ を用いて表せ。ただし、近似式 $\sin(\phi_0 + \Delta\phi) \doteq \sin \phi_0 + \Delta\phi \cos \phi_0$, $\cos(\phi_0 + \Delta\phi) \doteq \cos \phi_0 - \Delta\phi \sin \phi_0$, ならびに $(\Delta\phi)^2 \doteq 0$ を用いること。

問10 単振動の周期 T' を ω , ϕ_0 を用いて表せ。

[Ⅱ] 図Ⅱ－1のように、屈折率 n_2 の物質 B の上に屈折率 n_1 ($n_1 > 1$) で厚さが d の薄膜 A が広がっている。波長 λ で進行方向に位相のそろった平行光線①と②が角度 i で入射する。光線①が薄膜 A を通って物質 B によって反射され、光線②が薄膜 A で反射され、それらの反射光どうしが干渉する場合を考える。空気の屈折率を 1、また $n_1 > n_2$ として、以下の問いに答えよ。

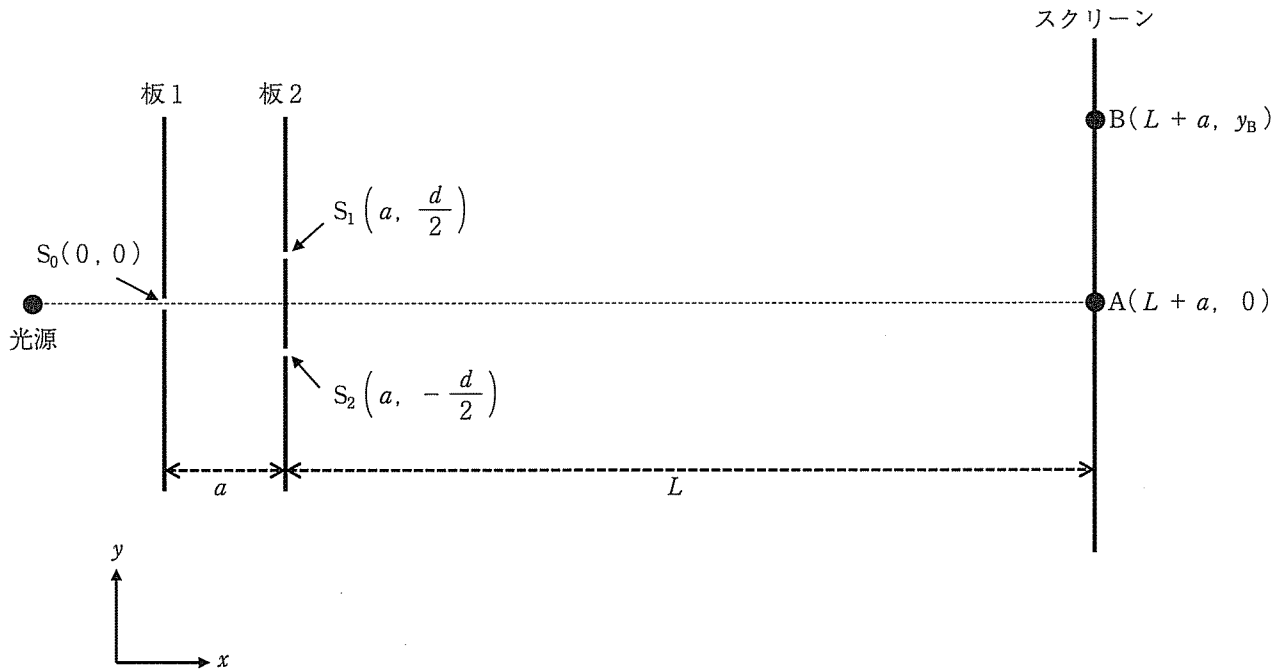


図Ⅱ－1

問1 光線①の薄膜 A 入射後の屈折角を r とするとき、屈折率 n_1 を i, r を用いて表せ。

問2 光線①と②が観測点で強め合って明るくなるとき、屈折率 n_1 を n_2, d, r, λ および k ($k = 0, 1, 2, \dots$) の中から必要な記号を用いて表せ。

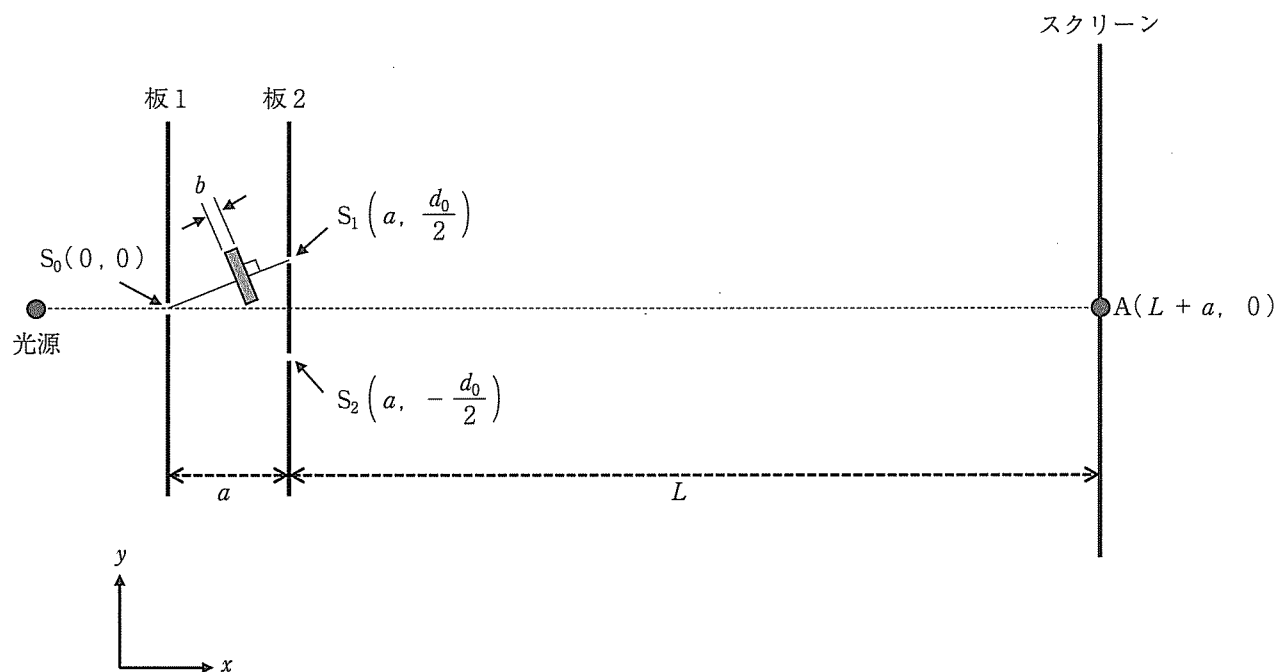
図Ⅱ－2のように、空気中で光源から出た波長 λ の光が、板1に開いた原点にあるスリット S_0 を通り、板2に開いたスリット S_1 と S_2 を通り、 $x = L + a$ に設置したスクリーンに到達する。 S_1 と S_2 を通った光どうしが干渉しあい、明暗の縞が観測された。板1と2およびスクリーンは y 軸と平行であり、 S_1 と S_2 の間隔 d と板2の位置は可変である。ただし、 L に比べてスリット間隔 d は十分に小さいものとし、必要ならば $|a|$ が1より十分に小さいときに成り立つ近似式 $(1 + \alpha)^n \doteq 1 + n\alpha$ を用いること。



図Ⅱ－2

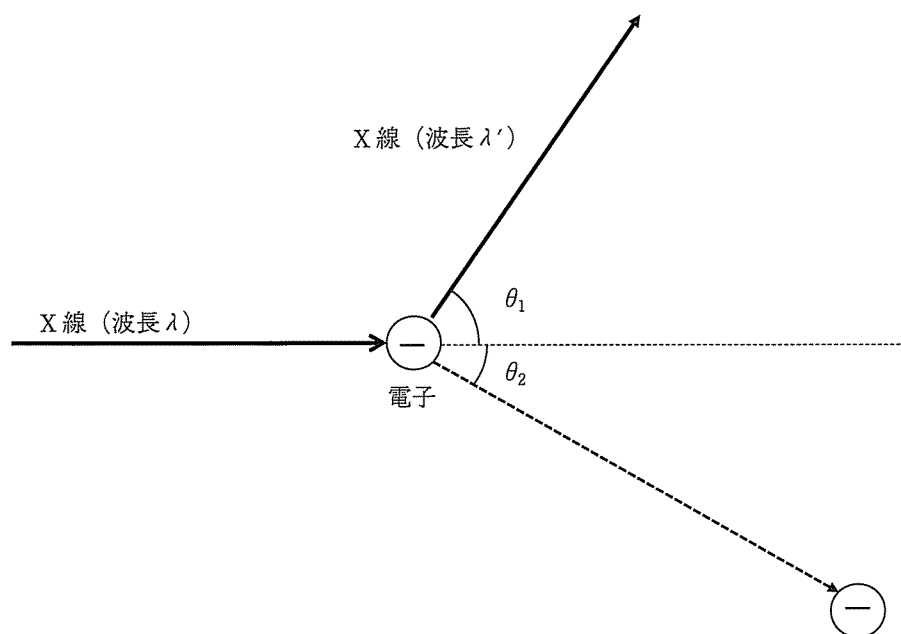
- 問3 スクリーン上 ($x = L + a$) の $y > 0$ において、点 $A(L + a, 0)$ から最も近い明線が観測される点を B とするとき、 AB 間の距離 y_B を a, d, L, λ の中から必要な記号を用いて表せ。
- 問4 スリット S_1 と S_2 の間隔の初期値を d_0 として、その間隔を単位時間当たり v_0 だけ増加させた時、点 B において、明るさは徐々に暗くなり、時刻 t_0 で再び明線となった。 t_0 を a, d_0, L, v_0, λ の中から必要な記号を用いて表せ。
- 問5 スリット間隔を d_0 に固定し、板2を y 軸と平行に保ったまま、 x 軸の正方向へ一定の速度 v_1 で移動させたところ、点 B にあった明線の位置は点 A の方向へ動き始めた。時刻 t_1 のとき、その明線の位置は、 AB の中点まで移動した。このときの時刻 t_1 を a, d_0, L, v_1, λ の中から必要な記号を用いて表せ。

問6 図Ⅱ-3のように、スリット間隔を d_0 に固定したまま、スリット S_0 と S_1 の間に厚さ b 、屈折率 $n(n>1)$ の薄い透明な板を光路に垂直となるように置くと、点Aにあった明線の位置が移動した。移動した方向を y 軸の正方向または負方向で指定し、移動した距離を a 、 b 、 d_0 、 L 、 n 、 λ の中から必要な記号を用いて表せ。



図Ⅱ-3

X線は波動性を示すとともに粒子性を示す場合もある。その性質が強く現れる現象として、図Ⅱ－4のようなX線の電子による散乱がある。X線（波長 λ ）は電子により散乱されたのち進行方向を変えて、異なる波長 λ' をもったX線となる。X線の電子による散乱前後で運動量とエネルギーが保存される場合について、以下の問いに答えよ。



図Ⅱ－4

問7 散乱前のX線の運動量の大きさと運動エネルギーを、 λ 、プランク定数 h 、光の速度 c の中から必要な記号を用いて表せ。

問8 入射方向に対して θ_1 方向で観測されるX線の波長 λ' を λ 、 h 、 c 、 θ_1 及び電子の質量 m の中から必要な記号を用いて表せ。ただし、必要ならば $\lambda \approx \lambda'$ のときに成り立つ近似式 $\frac{\lambda}{\lambda'} + \frac{\lambda'}{\lambda} \approx 2$ を用いること。

[以 下 余 白]

