

'25

前期日程

物 理

(理 工 学 部)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は1冊(15頁)、解答用紙は3枚、下書用紙は1枚です。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

1

【I】 図1のように光源から出た単色光が単スリット P_0 および複スリット P_1 , P_2 を通過する。スクリーン中央付近で明るい線および暗い線が交互に、つまり明線および暗線のしま模様ができた。これを干渉じまと呼び、この実験をヤングの干渉実験という。図1のように単スリットおよび複スリットの面はそれぞれスクリーンと平行である。また、経路 P_0P_1 と経路 P_0P_2 の経路差はない。実験は空気中でおこなった。空気の屈折率は1とする。以下の問(1)～(5)に答えよ。

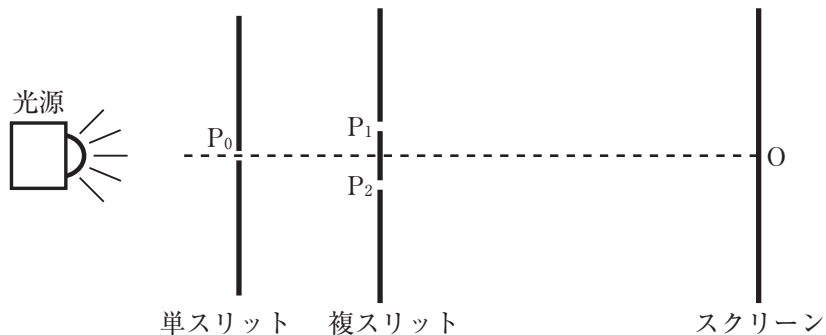


図1

(1) スクリーン中央にある点 O では経路 P_1O と経路 P_2O の経路差はない。

点 O では明線または暗線のどちらが見えるか。以下の選択肢(あ), (い)から適切なものを一つ選べ。

(あ) 明線

(い) 暗線

スクリーン上のある点 Q の明暗について考える。経路 P_1Q と経路 P_2Q の経路差の大きさを d とする。光源から出る光の波長を λ とする。

- (2) 点 Q で明線が見える条件として最も適切なものを、以下の選択肢(あ), (い), (う)から一つ選べ。ただし m は 0 以上の整数 0, 1, 2, ... とする。

(あ) $\frac{d}{\lambda} = m$ (い) $\frac{d}{\lambda} = m + \frac{1}{2}$ (う) $\frac{d}{\lambda} = m + \frac{1}{4}$

- (3) 点 Q で暗線が見える条件として最も適切なものを、以下の選択肢(あ), (い), (う)から一つ選べ。ただし m は 0 以上の整数 0, 1, 2, ... とする。

(あ) $\frac{d}{\lambda} = m$ (い) $\frac{d}{\lambda} = m + \frac{1}{2}$ (う) $\frac{d}{\lambda} = m + \frac{1}{4}$

光源から出る光の波長は $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$, スリット P_1 と P_2 の間隔は 0.50 mm , 複スリットとスクリーンの距離は 2.0 m であったとする。

- (4) スクリーン中央付近での干渉じまの間隔, つまり隣り合う明線の間隔を有効数字 2 桁でもとめよ。 $|L|$ が $|D|$ より十分大きい場合, $\sqrt{L^2 + D^2}$ は $|L| + \frac{D^2}{2|L|}$ と近似できることを用いよ。
- (5) 次に, スリット P_1 と P_2 の間隔を狭くすると干渉じまの間隔はどう変わるか。簡単に述べよ。

- 【Ⅱ】 図2のように同じ屈折率 n ($n > 1$) の平面ガラスと平凸レンズを重ねる。平面ガラスは平凸レンズと点 O で接している。平凸レンズは平面と半径 R の球面を組み合わせた構造である。真上から波長 λ の単色光を平面ガラスに垂直に入射し、その反射光を観測する。実験は空気中でおこなった。空気の屈折率は1とする。平凸レンズの下面で反射した光と平面ガラスの上面で反射した光が干渉して、同心円状に明暗の輪が観測された。これをニュートンリングという。以下の問(6)～(10)に答えよ。

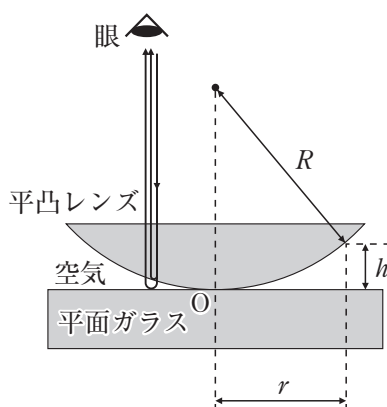


図 2

- (6) ニュートンリングでは交互に明暗の輪が観測されるが、輪の中心はどのように見えるか、適切なものを以下の選択肢(あ)、(い)から一つ選べ。

(あ) 明るい

(い) 暗い

- (7) 図2のように接点 O から平面ガラスに沿って距離 r だけ離れた点から、鉛直上方の球面までの距離は h であった。 h を r と R を用いて表せ。ただし、 r と h は R に比べ十分小さいとする。 $|L|$ が $|D|$ より十分大きい場合、 $\sqrt{L^2 - D^2}$ は $|L| - \frac{D^2}{2|L|}$ と近似できる。

- (8) ニュートンリングの明るい輪の半径を観測した。明暗の輪の中央付近で中心から k 番目の明るい輪の半径を k, R, λ のうち必要なものを用いて表せ。ただし k は 1 以上の整数 1, 2, $\dots$ とする。
- (9) 単色光の代わりに白色光を入射しても、明暗の輪を観測できた。このとき、最も内側の明るい輪はどのように見えるか。以下の選択肢(あ), (い)から適切なものを一つ選べ。

(あ) 色づいている

(い) 白色である

次に平凸レンズと平面ガラスの間を屈折率 $n' (1 < n' < n)$ の透明な液体で満たした。液体で満たす前と同様にして、波長 λ の単色光を入射したところ、ニュートンリングが観測できた。

- (10) 液体で満たす前の、問(8)での観測と比べて明るい輪の半径はどう変わったか。最も内側の明るい輪に関して以下の選択肢(あ), (い), (う)から最も適切なものを一つ選べ。

(あ) 大きくなった

(い) 小さくなった

(う) 変化しなかった

2

【I】 図1のように鉛直上向きで磁束密度の大きさ B [T] の一様な磁界中に、十分に長い2本の平行な導体レールが、間隔 L [m] 離れて水平面内に固定されている。導体レールの間に抵抗の大きさ r [Ω] の抵抗を接続した。その後、導体レールの上に軽い角形の導体棒をおき、導体棒に軽くて伸びない糸で、滑らかに回転する滑車を用いて図1のように質量 m [kg] のおもりをつないだところ、導体棒は動き始めた。導体棒は、導体レールと垂直を保ったまま、導体レール上を滑らかにすべるものとする。導体レールと導体棒の電気抵抗、自己インダクタンス、および、導体棒の空気抵抗は無視できるものとする。また、回路を流れる電流がつくる磁界は、 B に比べて十分に小さいため無視できるものとする。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。以下の問(1)～(7)に答えよ。

- (1) 導体棒の速さが v [m/s] のとき導体棒に生じる起電力を v , B , L , r , m , g から必要なものを用いて表せ。
- (2) 図1のように導体棒の両端を点Pと点Qとする。導体棒に流れる電流の向きについて、以下の選択肢(a), (b)の中から適切なものを選び。

(a) 点Pから点Qに向かう向き
(b) 点Qから点Pに向かう向き

導体棒が動き出し十分に時間が経過した後、導体棒は一定の速さになった。以下の問いに答えよ。

- (3) 十分に時間が経過した後の導体棒に流れる電流の大きさを B , L , r , m , g から必要なものを用いて表せ。
- (4) 十分に時間が経過した後の導体棒の速さを B , L , r , m , g から必要なものを用いて表せ。
- (5) 十分に時間が経過した後の抵抗の大きさ r [Ω] の抵抗で1秒間あたりに発生するジュール熱を B , L , r , m , g から必要なものを用いて表せ。

- (6) 十分に時間が経過した後の重力がおもりにする仕事の仕事率を B , L , r , m , g から必要なものを用いて表せ。
- (7) 以下の文の空欄に入る最も適切な語句を選択肢(a), (b), (c)の中から選べ。

導体レールに接続した抵抗の大きさを $r[\Omega]$ より大きくすると、十分に時間が経過した後の導体棒の速さは、抵抗の大きさが $r[\Omega]$ のときと比べて 。

- (a) より遅くなる (b) より速くなる (c) 変化しない

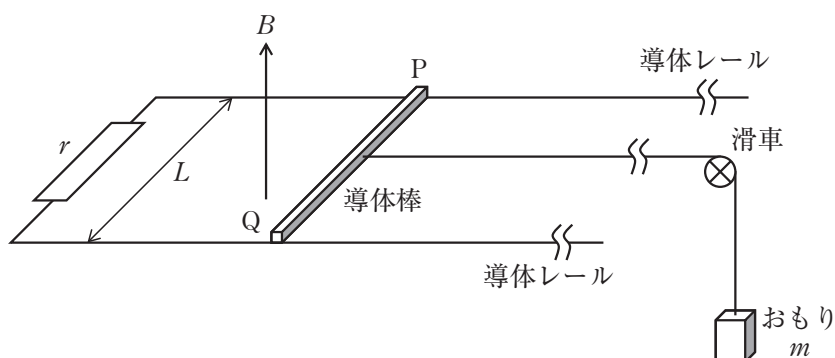


図 1

【Ⅱ】 図2のように x 軸方向の長さ a [m], y 軸方向の長さ b [m] ($a < b$), z 軸方向の長さ h [m] の直方体の金属がある。この金属に一樣な大きさの電界や磁界をかけたときの金属内の自由電子の運動について考える。以下の文章中の(8)～(15)にあてはまる適切な式を書け。また, (ア)～(ウ)に最も適切なものを下記の解答群①～⑥の中から選べ。

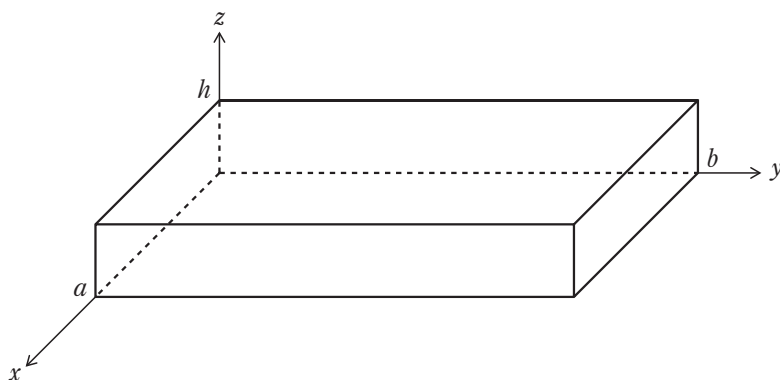


図 2

金属内を移動する自由電子の運動について, 自由電子が抵抗を受け, 一定の速さで移動するというモデルを考える。なお, 金属内を流れる電流がつくる磁界は無視する。金属内には電荷 $-e$ [C] ($e > 0$) の自由電子が存在し, その単位体積あたりの個数を n [$1/\text{m}^3$] とする。図3のように, 金属内部に y 軸の正の向きに沿って一樣な大きさの電界 E [V/m] をかけると, 金属の y 軸方向の両端に大きさ (8) の電位差が生じる。

自由電子は, 電界から大きさ (9) の電気力を受けて移動しはじめるが, 移動すると金属内で熱運動している陽イオンなどから電気力とは逆向きの抵抗を受け。この抵抗の大きさは自由電子の移動する速さに比例する。この比例定数を k [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$] とする。十分に時間が経過すると, 自由電子が電界から受ける電気力と陽イオンから受ける抵抗がつり合い, 自由電子は金属内を一定の速さで移動するようになる。一定の速さに達したときの自由電子の速さは (10) である。

時間 $t[\text{s}]$ の間に、金属内のある断面 A を通過する自由電子の数は (11) である。金属に流れる電流の大きさは、1 秒間に断面 A を通過する電気量である。金属に流れる電流の大きさは (12) であり、流れる電流の向きは (ア) である。以上より、金属に流れる電流は、電界に比例することがわかる。したがって、金属の $y = 0$ の面と $y = b$ の面の間の電気抵抗は (13) である。

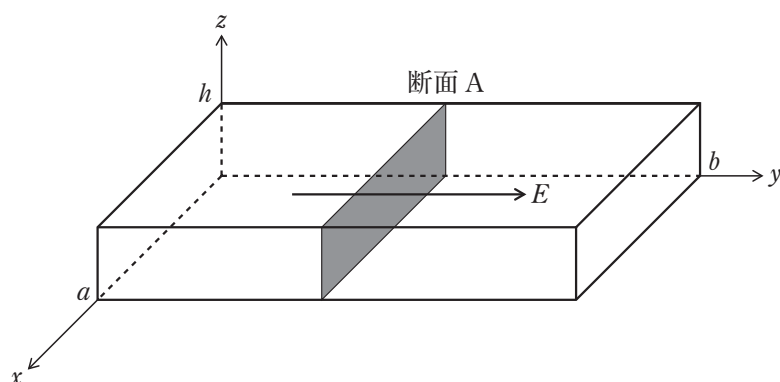


図 3

次に、図 4 のように、金属に対して y 軸の正の向きに一様な大きさの電流 $I[\text{A}]$ を流し、 z 軸の正の向きに磁束密度 $B[\text{T}]$ の一様な大きさの磁界をかけた。金属内に単位体積あたりに存在する自由電子の個数は $n[1/\text{m}^3]$ とする。また、図 4 のように、 $x = 0$ の面を面 P とし、 $x = a$ の面を面 Q とする。自由電子 1 個が磁界から受ける力の大きさは (14) である。各々の自由電子は磁界から (イ) に力を受けるため、電荷の偏りが生じる。その結果、(イ) の電界ができ電位差が生じる。十分に時間がたつと、金属内の自由電子が磁界から受ける力と電荷の偏りから生じる電界から受ける力が釣りあう。このとき、面 P と面 Q の間の電位差の大きさは (15) であり、自由電子は (ウ) にのみ移動する。

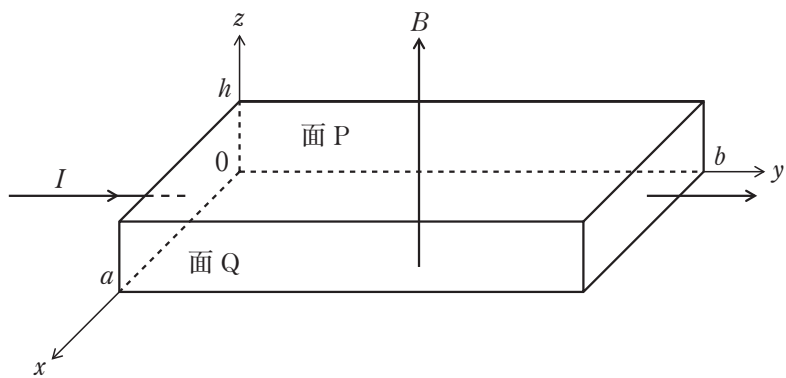


図 4

(ア)～(ウ)の解答群

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| ① x 軸の正の向き | ② y 軸の正の向き | ③ z 軸の正の向き |
| ④ x 軸の負の向き | ⑤ y 軸の負の向き | ⑥ z 軸の負の向き |

3

図1に示すように、水平な地面に上面が滑らかな水平台を固定した。地面から水平台上面までの高さは H である。水平台の左端には、ばね定数 k の軽いばねが取り付けられている。また、水平台上面右端の鉛直下方の地面の点を点 A とする。ばねが自然長のとき、ばね右端から距離 l だけ離れた水平台上の点を点 P とし、点 P の鉛直上方の r だけ高い点を点 O とする。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

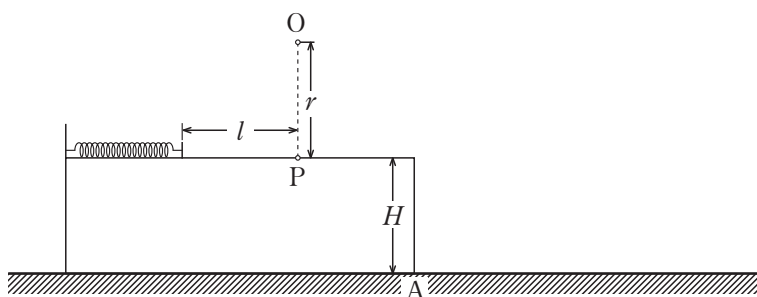


図1

【I】 図2に示すように、質量 m の小球を点 P の位置に置いた。小球と点 O を長さ r の質量の無視できる棒で連結した。棒は点 O を中心に抵抗なく回転できるようにした。質量 M の小物体1をばねに押し付け、ばねを自然長から d だけ縮めた後、静かにはなすと、小物体1は水平台の上を右方に向かって運動を開始し、小球と衝突した後、水平台右端から飛び出した。ここで、小物体1と小球の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。また、 $M > m$ であり、小物体1と小球のはねかえり係数は e とする。以下の問(1)～(5)に答えよ。

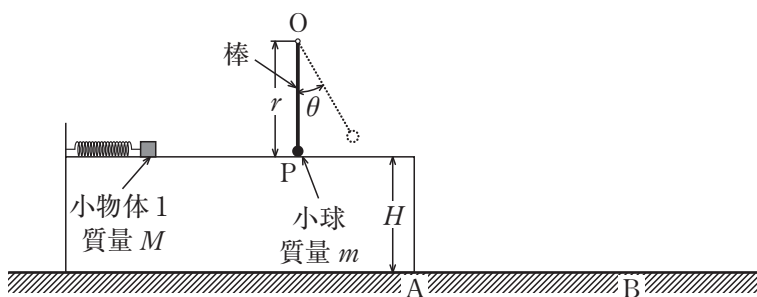


図 2

- (1) 小物体 1 が小球に衝突する直前の速度の大きさを M, m, k, d, l, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (2) 小物体 1 と小球が衝突した直後の、小物体 1 と小球のそれぞれの速度の大きさを M, m, k, e, d, l, g の中から必要なものを用いてそれぞれ表せ。なお、衝突の前後で小物体 1 と小球の運動量の和は変化しないものとする。

小物体 1 と小球が衝突した後、小物体 1 は水平台右端から飛び出した。小球は点 O を中心として反時計回りに回転し、水平台上面からの高さが最高点に達した後、点 P に向かってもどってきた。この最高点における棒と鉛直下方とのなす角は θ ($0 < \theta < \pi$) であった。

- (3) 小物体 1 が、初めに地面に着地した点を点 B とする。AB 間の距離を M, m, k, e, d, l, H, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 最高点における、小球の水平台上面からの高さを r, θ を用いて表せ。
- (5) 最高点において、小球が棒に及ぼす力の大きさを M, m, θ, g の中から必要なものを用いて表せ。

【Ⅱ】 図3に示すように質量 m の小球を点Pに置いた。小球と点Oを長さ r の質量の無視できる棒で連結した。棒は点Oを中心に抵抗なく回転できるようにした。質量 m の小物体2をばねに押し付け、ばねを自然長から d だけ縮めた後、静かにはなすと、小物体2は水平台の上を右方に向かって運動を開始した。ここで、小球と小物体2の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。また、小球と小物体2のはねかえり係数を1とする。ばねの縮み d を d_1 または d_2 とした場合、以下の問(6)～(12)に答えよ。

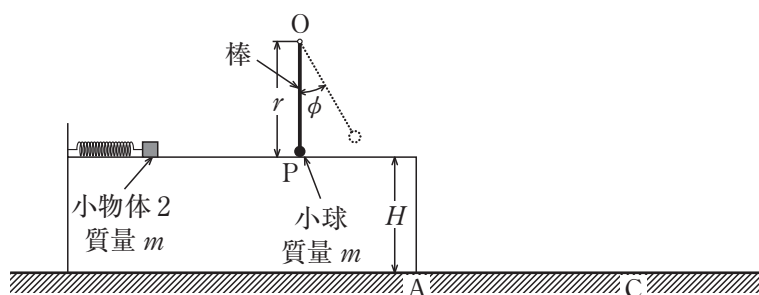


図3

ばねの縮みを d_1 とした場合、小物体2と小球が衝突した後、小物体2は点Pで静止した。小球は点Oを中心として反時計回りに小さな角度 ϕ まで回転した後、点Pに向かってもどってきた。その後、小球と小物体2は衝突を繰り返した。

- (6) ばねを静かにはなした後、小物体2がばねから離れるまでの時間を m, k, d_1, l, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (7) 最初に小物体2が小球に衝突した直後の小球の速度の大きさを m, k, d_1, l, g の中から必要なものを用いて表せ。なお、衝突の前後で小物体2と小球の運動量の和は変化しないものとする。
- (8) 最初に小物体2が小球に衝突した直後から小球が初めに最高点に達するまでの時間を m, k, d_1, l, r, g の中から必要なものを用いて表せ。

- (9) 最初に小球が最高点に達してから、再び最高点に達するまでの時間を m, k, d_1, l, r, H, g の中から必要なものを用いて表せ。

次に、ばねの縮みを d_2 としたところ、小物体 2 と小球が衝突した後、小物体 2 は点 P で静止し、小球は棒と共に点 O を中心に 1 回転した。小球が 1 回転した後、小球は小物体 2 の左方から衝突し、小物体 2 は水平台の右端から飛び出した。

- (10) ばねの縮み d_2 の最小値を m, k, r, l, H, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (11) 小球が 1 回転し、小物体 2 と衝突した直後の小球および小物体 2 の速度の大きさを m, k, d_2, l, H, g の中から必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (12) 小物体 2 が初めに地面に着地した点を点 C とする。AC 間の距離を m, k, d_2, l, H, g の中から必要なものを用いて表せ。

- 【Ⅲ】 図4に示すように、質量 m の小球を点Pに置いた。小球に長さ r の軽い糸を取り付け、糸の他端を点Oに固定した。糸は点Oを中心に抵抗なく回転できるものとする。質量 M の小物体1をばねに押し付け、ばねを自然長から d_3 だけ縮めた後、静かにはなすと、小物体1は水平台上を右方に向かって運動を開始した。小物体1と小球が衝突した後、糸がたるむことはなく、小球は円運動を行い1回転した。1回転した後、再び小球が点Pに達した瞬間に糸が切れ、小球は水平台上を右方に移動した。このとき、小物体1と小球は水平台上で再び衝突することはなかった。ここで、小物体1と小球の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。また、 $M > m$ であり、小物体1と小球のはねかえり係数は e とする。以下の問(13)~(15)に答えよ。

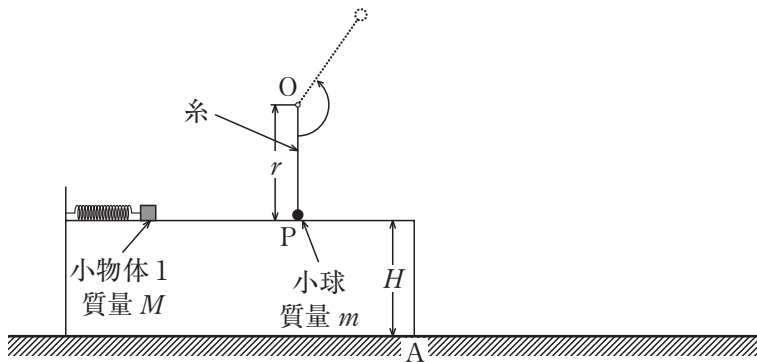


図 4

- (13) 糸がたるむことなく小球が1回転する場合、水平台上面から高さ $2r$ の位置での小球の速度の大きさの最小値を m, r, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (14) 糸がたるむことなく小球が1回転する場合、ばねの縮み d_3 の最小値を M, m, k, e, l, r, H, g の中から必要なものを用いて表せ。
- (15) 水平台右端から、小物体1と小球は飛び出した。小物体1が初めに地面に着地した点と小球が初めに地面に着地した点の間の距離を $M, m, k, e, d_3, l, r, H, g$ の中から必要なものを用いて表せ。