

物 理

(問 題)

2026年度

〈2026 R08200015 (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2～7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
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

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. 問題冊子の余白等は適宜利用してよいが、どのページも切り離さないこと。
7. 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。
8. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I] 次の問1から問5に答えよ。

問1 アインシュタインが提唱した特殊相対性理論を参考にと、運動する物体の質量 m と運動量 p は、次の(式1)、(式2)のように物体の速さ v の関数として扱うことができる。

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (\text{式1})$$

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (\text{式2})$$

ここで、 m_0 は物体が静止している時の質量(静止質量)で、 c は真空中の光速である。さらに、物体の全エネルギー E は有名な質量とエネルギーの関係式(式3)で表される。

$$E = mc^2 \quad (\text{式3})$$

$|a|$ が十分に小さいとき、近似式 $(1 - a)^n \doteq 1 - na$ が適用できるとすると、 $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ が十分に小さければ、(式3)は次のように近似される。

$$E \doteq m_0 c^2 + \boxed{\text{ア}}$$

$\boxed{\text{ア}}$ にあてはまる式を、 m_0 、 v の中から必要な記号を用いて書け。

次に、(式3)の E を m_0 、 p 、 c を用いて表せ。ただしそのために、いったん、 $E^2 - c^2 p^2$ を m_0 と c を用いて表してみよう。そうすることで、 E を m_0 、 p 、 c を用いて表すことが容易にできる。この最後の E の関係式は「相対論的な運動量とエネルギーの関係」と呼ばれるものである。

問2 今度は、図 I - 1 のように、X 線を物質中の 1 個の電子に当てることを考える。これを 1 個の光子と 1 個の電子の衝突として扱い、入射 X 線の波長を λ 、振動数を ν 、散乱 X 線の波長を λ' 、振動数を ν' とし、電子の静止質量を m_0 、衝突後の運動量を p とする。また、図 I - 1 のように、衝突後に進む方向の角度を θ 、 φ とし、プランク定数を h とする。ただし、問 1 に示された相対論におけるエネルギーや質量の考え方は、ここでも踏襲するものとする。このとき、衝突前後の運動量保存の法則の式 (x 方向と y 方向) ならびにエネルギー保存の法則の式はどのように表せるか。 ν 、 ν' 、 m_0 、 p 、 h 、 θ 、 φ 、 c の中から必要な記号を用いて表せ。

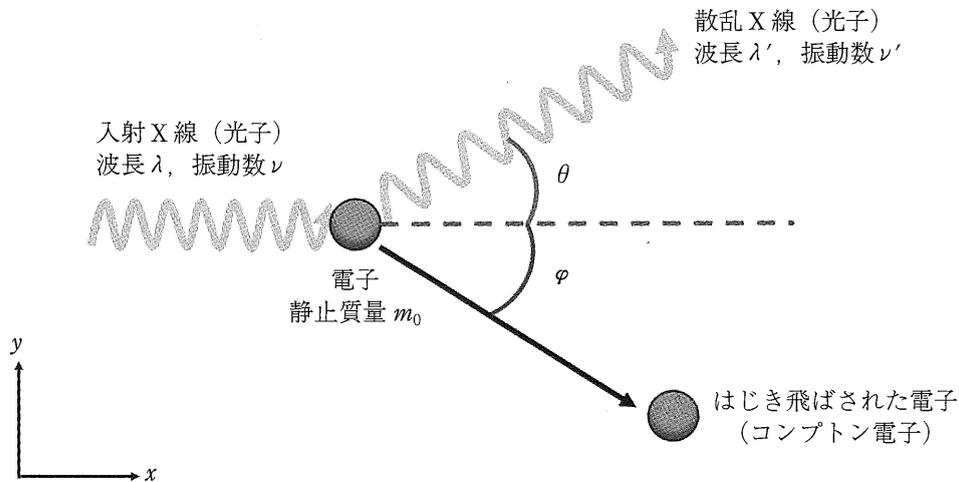


図 I - 1

ここでコンプトン効果を考えると $\lambda' - \lambda = \boxed{\text{イ}}$ と表せる。 $\boxed{\text{イ}}$ に入る式を m 、 m_0 、 h 、 θ 、 φ 、 c の中から必要な記号を用いて表せ。

問3 現代の物理学では自然界には 4 つの力が存在すると考えられている。それらは「強い力」、「弱い力」、「重力」、「電磁気力」である。約 138 億年前に宇宙が誕生した直後は、これらの力は未分割な状態であり、宇宙誕生後、最初に $\boxed{\text{①}}$ が、次に $\boxed{\text{②}}$ が分かれ、そして残った未分割の力が $\boxed{\text{③}}$ と $\boxed{\text{④}}$ とに分かれたと考えられている。①から④に当てはまる力の名前を、上の 4 つの力から答えよ。

問4 図 I - 2 のように、真空中に置かれた半径 a の円筒形の導体 A と、それを取り囲む半径 b の円筒形の導体 B を考える。両者の中心軸は共通であり、これらの導体の長さ L は、 a や b に比べて十分に長いものとする。半径 a の導体 A には単位長さあたり Q の正電荷が均等に帯電している。また、半径 b の導体 B には単位長さあたり $-Q$ の負電荷が均等に帯電している。真空中の誘電率を ϵ_0 とする。

中心軸からの距離が r ($a < r < b$) の地点での電場の強さ E を、 ϵ_0 、 L 、 Q 、 a 、 b 、 r の中から必要な記号を用いて表せ。

また、導体 A と導体 B の電位差 V と電場の強さ E との関係 $\Delta V = E \Delta r$ を考え、 ΔV と Δr を微小量として積分 $\left(\int_a^b \frac{1}{r} dr = \log_e \frac{b}{a} \right)$ を用いることで、 V を ϵ_0 、 L 、 Q 、 a 、 b 、 r の中から必要な記号を用いて表せ。

さらには、この図 I - 2 の静電気容量 C を、 ϵ_0 、 L 、 a 、 b 、 r の中から必要な記号を用いて表せ。

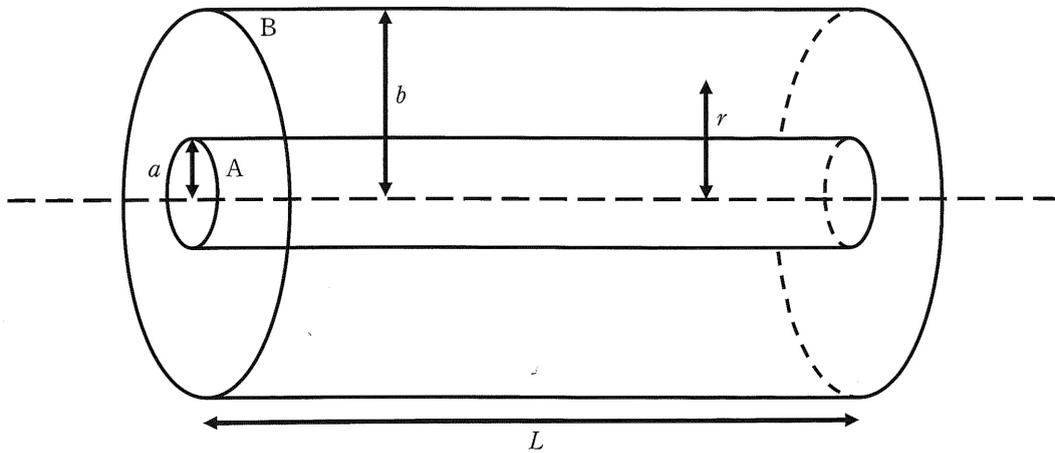
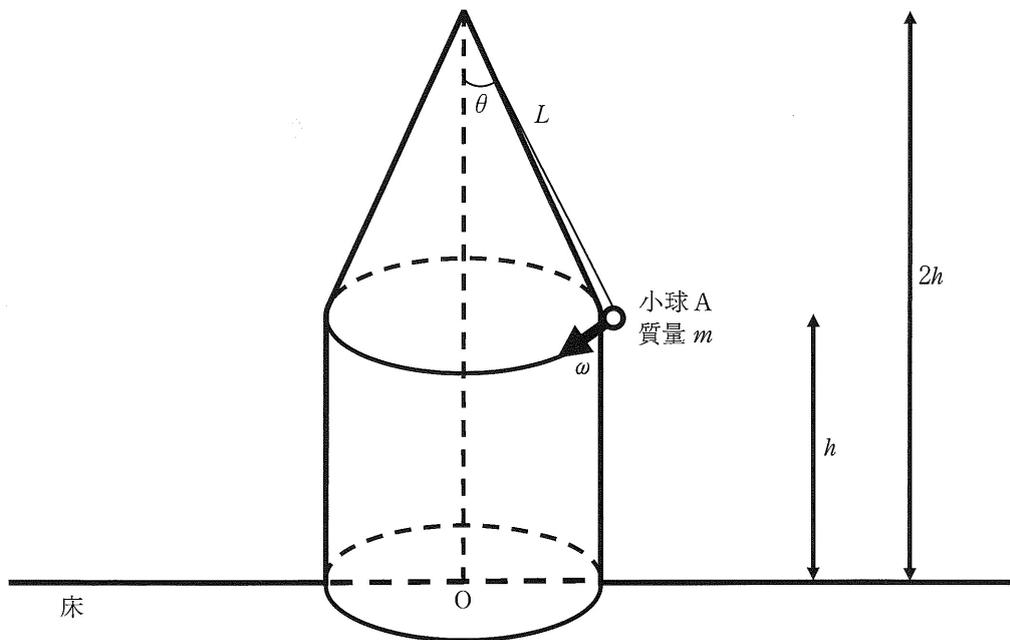


図 I - 2

問5 容積が変化する容器に、ある分子量の理想気体が入っている。今、容器の容積は 10 [L]、容器が気体から受ける圧力は 22 [Pa]、気体の質量は 10 [g] である。気体の温度を一定に保ちながら、同じ分子量の理想気体を w [g] だけさらに容器に追加し、容器の容積を 11 [L] にしたところ、容器が気体から受ける圧力は 50 [Pa] になった。このときの w を求めよ。

[II] 図Ⅱ-1のように、円筒の上に円錐が置かれており、その頂点から長さ L の糸でつるされている質量 m の小球Aを考える。小球Aの大きさは極めて小さいものとする。円錐の頂点からの鉛直方向と糸は θ の角度をなしている。円筒の高さも円錐の高さも両方とも h とし、円錐の頂点から鉛直下の床面の点をOとする。なお以下において、円錐の最下部と小球Aとの間の摩擦、ならびに空気抵抗は無視できるものとする。また重力加速度の大きさを g とする。



図Ⅱ-1

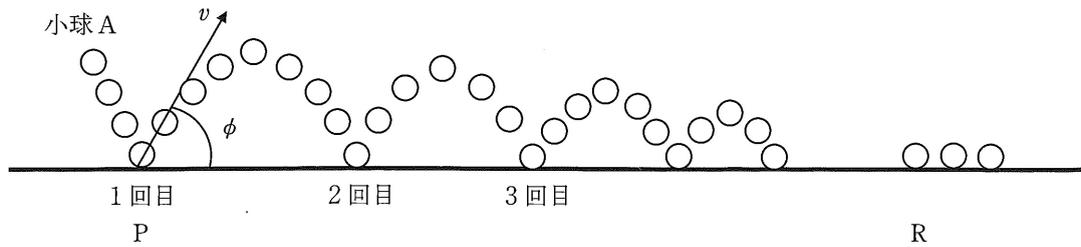
問1 いま、角速度 ω で小球Aが円錐の最下部に沿って等速円運動しているとする。このとき、小球Aは円錐側面から垂直抗力を受けている。この垂直抗力の大きさを、 L 、 m 、 g 、 θ 、 ω の中から必要な記号を用いて表せ。

問2 糸の張力の大きさを、 L 、 m 、 g 、 θ 、 ω の中から必要な記号を用いて表せ。

問3 小球Aの角速度 ω を徐々に大きくしていくと、小球Aが円錐の最下部から離れる瞬間がある。そのときの角速度を、 L 、 m 、 g 、 θ の中から必要な記号を用いて表せ。

問4 問3のように小球Aが円錐の最下部から離れた瞬間、小球Aは糸から外れて床に飛んで行き、床面上の点Pに落ちた。直線OPの距離を θ と L を用いて表せ。

さらに図Ⅱ-2のように、点Pに落下した小球Aは、床面との間で非弾性衝突を繰り返した。そして点Rで床面を滑り始めた。ここで床と小球Aとの間に摩擦は無いものとする。また反発係数（跳ね返り係数）を e ($0 < e < 1$)、点Pで跳ね返った瞬間の小球Aの速度と床面との角度を ϕ 、そのときの速さを v とする。



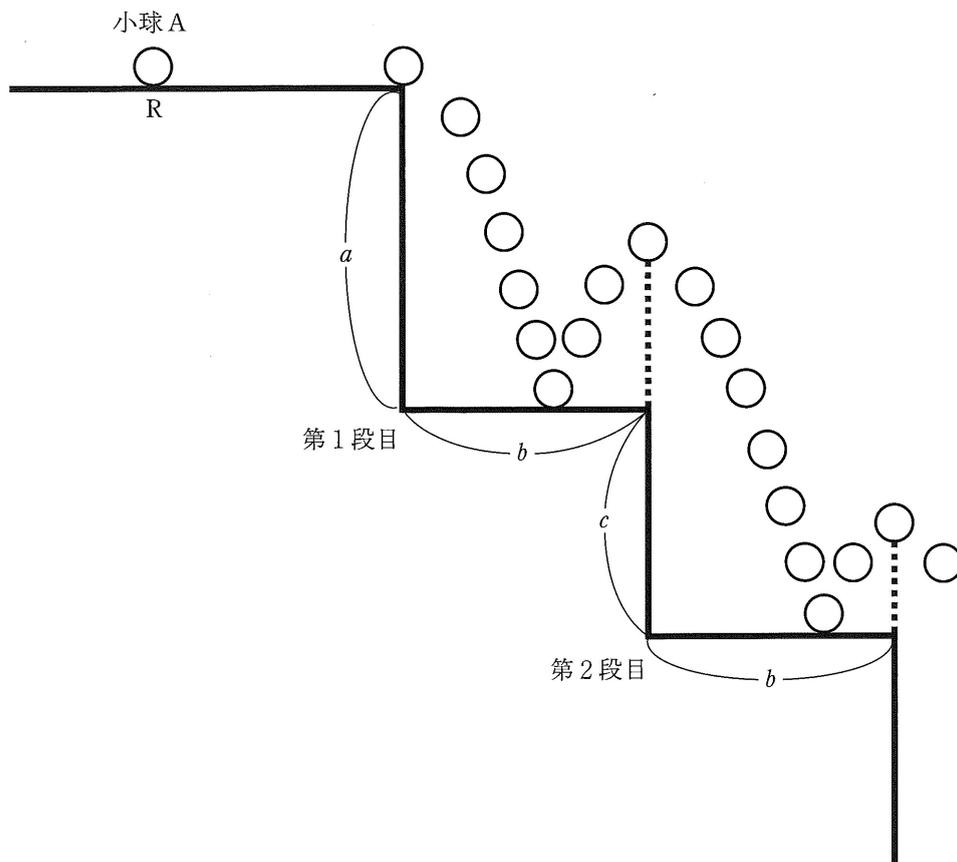
図Ⅱ-2

問5 点Pで跳ねたときを1回目の跳ね上がりおよび n 回目の跳ね上がりから $n+1$ 回目の跳ね上がりまでの水平距離を、 e , n , v , ϕ , g の中から必要な記号を用いて表せ。

問6 さらに、点Pから点Rまでの水平方向の距離はいくらか。数列の和の公式を用いて計算し、 e , v , ϕ , g の中から必要な記号を用いて表せ。

問7 問6のあと、小球Aは図II-2で点Rからは滑らかな床の上を滑って行き、今度は図II-3のように階段を落ち始めた。第1段目において、一度だけ階段の床にぶつかり跳ねたところ、図II-3に示されているように、ちょうど跳ねた小球Aの最高点が第1段目の端の真上に来た。また、第1段目の高さは a であった。このようなことが起こる条件として、第1段目の奥行の長さである b を、 a, e, v, ϕ, g の中から必要な記号を用いて表せ。 e は階段の各面での反発係数とする。ただし、小球Aと階段の各面との間に摩擦はないものとする。

次に、第2段目において、やはり一度だけ階段の床にぶつかり跳ねたところ、図II-3に示されているように、跳ねた小球Aの最高点が第2段目の端の真上に来た。第2段目の奥行の長さは、第1段目と同様に長さ b であった。このようなことが起こる条件として、第2段目の高さ c を、 a, e, v, ϕ, g の中から必要な記号を用いて表せ。



図II-3

[以下余白]

(2026 R 08200015 (物理))

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

問	[I]		
	1	2	3
採点欄			
問	[II]		
	1	2	3
採点欄			

(2026 R 08200015 (物理))

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

- 注 意
1. 受験番号(算用数字)・氏名は指示に従ってただちに所定欄に記入し、それ以外に記入してはならない。
 2. 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。
 3. 解答は黒鉛筆またはシャープペンシル (HB) で書くこと。
 4. 試験終了時にこの解答用紙を裏返して机の上に置き、指示を待つこと。
 5. 計算器は一切使用してはならない。

問	[I]		
	1	2	3
採点欄			
問	[II]		
	1	2	3
採点欄			

物 理 (解 答 用 紙)

I	<p>問1</p> <p>ア</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p>$E =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>				
	<p>問2</p> <p>x 方向の運動量保存の法則の式</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div> <p>y 方向の運動量保存の法則の式</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div> <p>エネルギー保存の法則の式</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div> <p>イ</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>				
	<p>問3</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; text-align: center;">①</td> <td style="border: 1px solid black; width: 50%; text-align: center;">②</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">③</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">④</td> </tr> </table>	①	②	③	④
①	②				
③	④				
	<p>問4</p> <p>$E =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p>$V =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p>$C =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>				
	<p>問5</p> <p>$w =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: right;">[g]</p>				

II	<p>問1</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問2</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問3</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問4</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問5</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問6</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>
	<p>問7</p> <p>$b =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <p>$c =$</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>