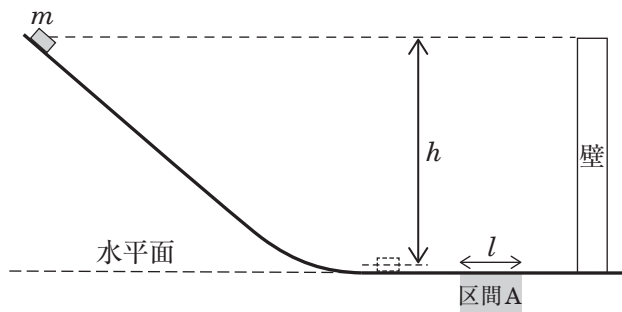


物 理

以下の 1 から 31 にあてはまる最も適切な答えを各解答群から 1 つ選び、解答用紙（マークシート）にマークせよ。ただし、同じ番号をくり返し選んでもよい。数値を選ぶ場合は最も近い値を選ぶものとする。

- I 図のような斜面があり、水平面と滑らかにつながっている。斜面に質量 m の小物体を置き、静かに放した。このときを時刻 $t=0$ とする。放したときの小物体の高さは、小物体が水平面にあるときよりも h だけ高い ($h>0$)。斜面および水平面は、一部の区間 A を除いて滑らかで摩擦は無視できる。区間 A の長さは l であり、その動摩擦係数は μ' である。区間 A の右側には水平面に固定された壁があり、壁と小物体と間のはね返り係数は $\frac{1}{2}$ である。重力加速度の大きさを g とする。小物体の運動は紙面内に限定されている。



小物体が斜面をすべり降り水平面に到達した。区間 A に入る直前の速さ v_1 は、 $\sqrt{2g \left(\text{ } \boxed{1} \text{ } \right)}$ である。区間 A の途中で停止せずに区間 A を通過した。摩擦力が小物体にした仕事の大きさは、 $\left(\text{ } \boxed{2} \text{ } \right) \times mg$ である。通過直後の速さ v_2 は、 $\sqrt{2g \left(\text{ } \boxed{3} \text{ } \right)}$ である。

壁に衝突後、小物体ははね返り、再び区間 A を通過した。区間 A に入る直前の速さ v_3 は、 $\sqrt{2g \left(\text{ } \boxed{4} \text{ } \right)}$ である。区間 A の途中で小物体が停止しない条件は、

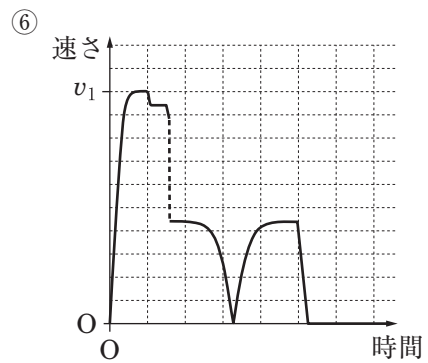
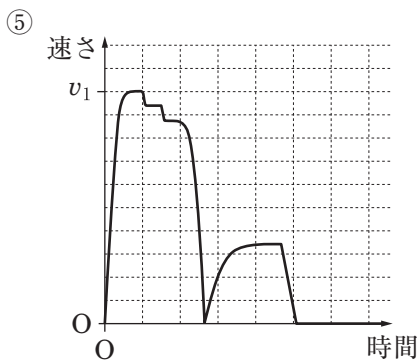
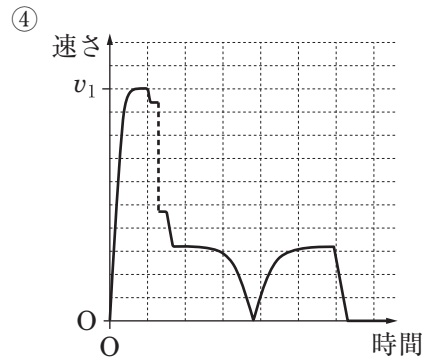
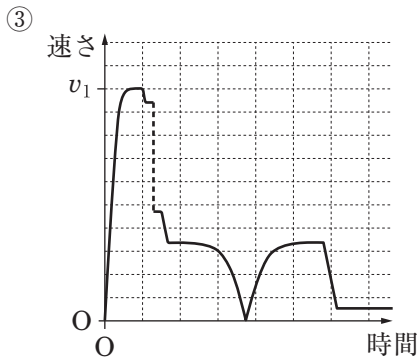
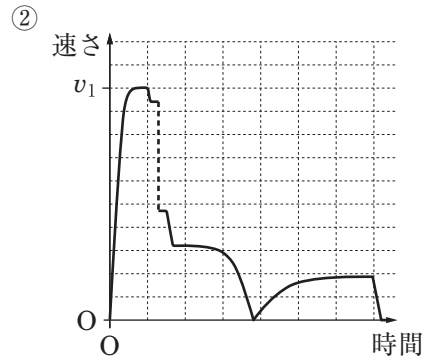
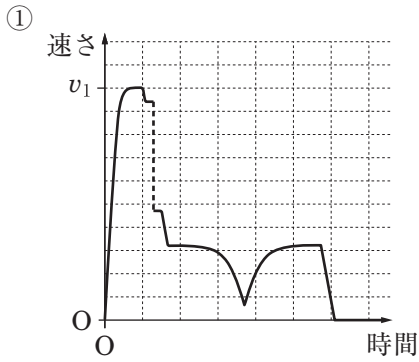
$h > \boxed{5}$ である。再び区間 A を通過した直後の速さ v_4 は、 $\sqrt{2g \left(\boxed{6} \right)}$ であり、その後、水平面からの高さ $\boxed{7}$ まで斜面を登った。

再度、小物体は斜面を滑り降りた。水平面に達したあと区間 A の途中で小物体が停止した。このことから、 $\boxed{5} < h < \boxed{8}$ であることがわかる。最初に小物体が滑り始めてから止まるまでの速さの時間変化を図に示したものは $\boxed{9}$ で、水平面からの高さの時間変化を図に示したものは $\boxed{10}$ である。

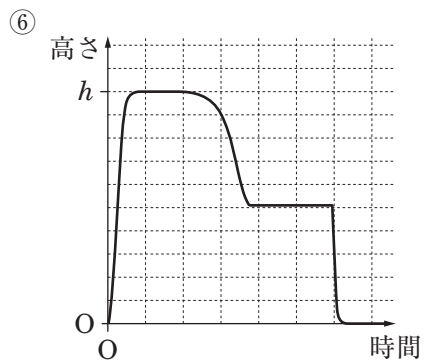
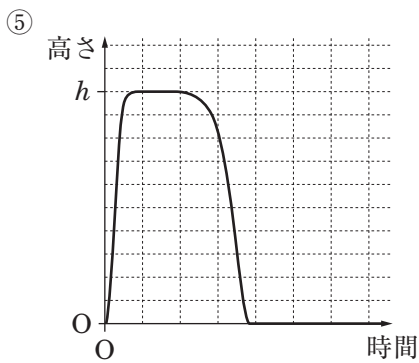
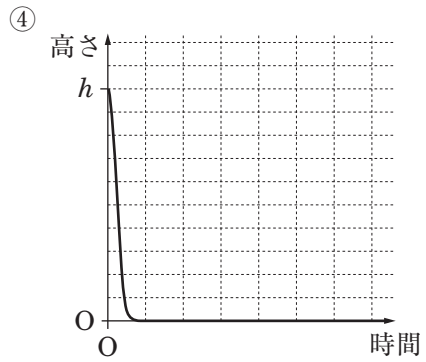
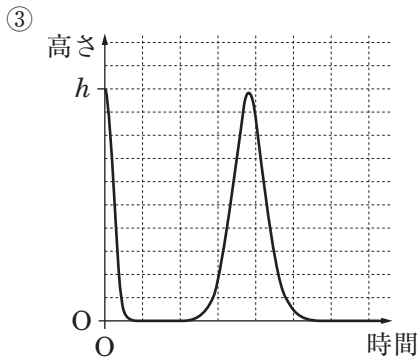
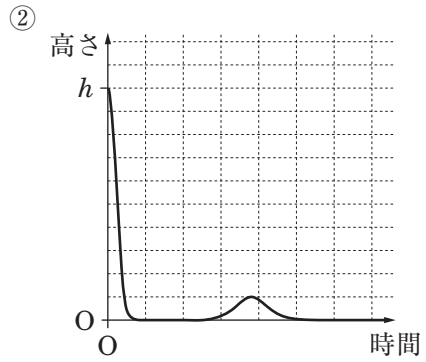
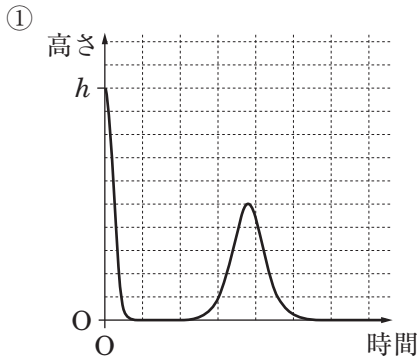
$\boxed{1} \sim \boxed{8}$ の解答群

- | | | | |
|------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| ① $\frac{1}{4}h$ | ② $\mu'l$ | ③ $\frac{1}{4}h + \frac{1}{4}\mu'l$ | ④ $\frac{1}{4}h - \frac{1}{4}\mu'l$ |
| ⑤ $\frac{1}{2}h$ | ⑥ $3\mu'l$ | ⑦ $\frac{1}{2}h + \frac{1}{2}\mu'l$ | ⑧ $\frac{1}{2}h - \frac{1}{2}\mu'l$ |
| ⑨ h | ⑩ $5\mu'l$ | Ⓐ $h + \mu'l$ | Ⓑ $h - \mu'l$ |
| Ⓒ $\frac{5}{4}h$ | Ⓓ $7\mu'l$ | Ⓔ $\frac{1}{4}h + \frac{5}{4}\mu'l$ | Ⓕ $\frac{1}{4}h - \frac{5}{4}\mu'l$ |
| Ⓖ $2h$ | Ⓗ $9\mu'l$ | Ⓖ $\frac{5}{4}h + \frac{5}{4}\mu'l$ | Ⓙ $\frac{5}{4}h - \frac{5}{4}\mu'l$ |

9 の解答群



10 の解答群



Ⅱ 電荷 q [C] (q は正) を持った質量 m [kg] の粒子 (荷電粒子) の運動を考える。ただし、重力は無視する。

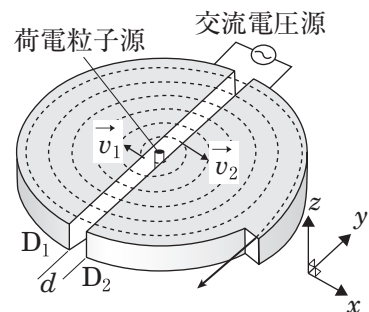
- (1) 磁束密度の大きさが B [T] の一様な静磁場に対して直交する向きに、荷電粒子が速さ v [m/s] で動いている。静磁場に対して静止した観測者が観測すると、その荷電粒子には大きさが 11 [N] の力がはたらく。その力の向きは磁場と速度の両方に垂直である。したがって、荷電粒子は半径 r [m] の等速円運動を行う。荷電粒子と一緒に動く観測者が見れば、荷電粒子にはみかけの力 12 [N] もはたらく。このみかけの力は 11 とつりあっているので、等速円運動の半径は 13 [m] で、周期は 14 [s] となることがわかる。

- (2) 図のように、真空中で D 字型の中空電極 D_1 と D_2 を、向かい合うように幅 d [m] の小さな隙間 (すきま) をあけて水平におき、磁束密度の大きさが B [T] の一様な静磁場をかける。図のように水平面に平行に xy 平面をとり、 z 軸を鉛直上向きにとる。 y 軸は隙間に平行にとる。

交流電圧源の発生する時刻 t [s] の電圧は $V_0 \sin(2\pi ft)$ [V] である。周波数 f [Hz] を適切に調整すると、図の破線のように荷電粒子源から出た荷電粒子は十分小さな隙間を何度も通過する度に毎回少しずつ加速される。

まず、隙間で荷電粒子が加速される原理について考えよう。荷電粒子が x 軸の負の向きの速

度 $\vec{v}_1$ [m/s] で電極 D_1 に入射した。荷電粒子は図のように、電極 D_1 の中空部分では円の半分を描くように運動した。一様な磁場の向きは 15 である。このとき、荷電粒子が電極 D_1 に入射してから出るまでの時間は、16 [s] である。幅 d の隙間が十分に小さく、荷電粒子が電極 D_1 を出て D_2 に入るまでの時間は十分に短いとしよう。したがって、その間は大きさ V [V] の一定の電圧がかかっていると近似することができる。ただし、この電圧による電場は荷電粒子を加速する向きである。荷電粒子が電極 D_2 に入射するときの速度を $\vec{v}_2$ とする。 $\vec{v}_1$ と $\vec{v}_2$ の大きさをそれぞれ



v_1 と v_2 とすると, $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \boxed{17}$ の関係がある。

荷電粒子が隙間で毎回加速されるためには, 周波数 f は適切な値でなければならない。その適切な値のうちで, もっとも低い周波数は, $\boxed{18}$ [Hz] で, 2 番目に低い周波数は $\boxed{19}$ [Hz] である。

この荷電粒子の軌道半径が R [m] に達すると, 荷電粒子がこの加速装置から出ていく。出ていくときの荷電粒子が持つ運動エネルギーは, $\boxed{20}$ [J] となる。

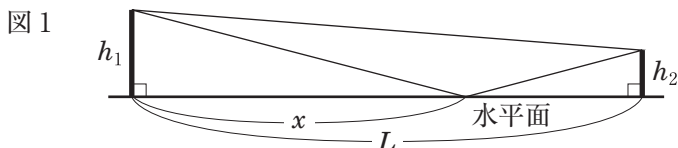
$\boxed{11} \sim \boxed{14}$, $\boxed{16} \sim \boxed{20}$ の解答群

- | | | | | |
|----------|--------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| ① v | ② mv | ③ $\frac{mv}{qB}$ | ④ $\frac{m}{qB}$ | ⑤ $\frac{qB}{m}$ |
| ⑥ qV | ⑦ $\frac{m}{r}$ | ⑧ $\frac{\pi mv}{qB}$ | ⑨ $\frac{\pi m}{qB}$ | ⑩ $\frac{qB}{2\pi m}$ |
| ⑪ qv^2 | ⑫ $\frac{mv}{r}$ | ⑬ $\frac{2\pi mv}{qB}$ | ⑭ $\frac{2\pi m}{qB}$ | ⑮ $\frac{qB}{\pi m}$ |
| ⑯ qvB | ⑰ $\frac{mv^2}{r}$ | ⑱ $\frac{3\pi mv}{qB}$ | ⑲ $\frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ | ⑳ $\frac{3qB}{2\pi m}$ |

$\boxed{15}$ 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 |

Ⅲ 図1のように波長 λ の波が水平面から h_1 だけ高いところから出て、水平面から h_2 だけ高いところの観測者に届く。 h_1 と h_2 は正である。直接観測者に届く波(直接波)と一度水平面に反射して届く波(間接波)の干渉を考える。波源と観測者の位置関係は図の通りである。ただし、 L は h_1 と h_2 に比べて十分大きく、 $h_1 > h_2$ とする。以下では、経路に沿って波が伝搬する距離を経路長と呼ぶ。



- (1) 直接波の経路長 l_1 は である。反射波が水平面で反射する場所までの距離 x は で、間接波の経路長 l_2 は である。

～ の解答群

- ① h_1 ② h_2 ③ $\sqrt{L^2 + (h_1 + h_2)^2}$ ④ $\sqrt{L^2 + (h_1 - h_2)^2}$
 ⑤ $L + h_1$ ⑥ $L + h_2$ ⑦ $\sqrt{L^2 - (h_1 + h_2)^2}$ ⑧ $\sqrt{L^2 - (h_1 - h_2)^2}$
 ⑨ $\frac{h_1 L}{h_1 + h_2}$ ⑩ $\frac{h_2 L}{h_1 + h_2}$ a $\frac{h_1 L}{h_1 - h_2}$ b $\frac{h_2 L}{h_1 - h_2}$

- (2) いくつかの Δ の値に対して、 $\sqrt{1+\Delta}$ を計算して小数点以下4桁を示すと、以下の表が得られた。

Δ	-0.0500	-0.0100	-0.0050	0.0000	0.0050	0.0100	0.0500
$\sqrt{1+\Delta}$	0.9747	0.9950	0.9975	1.0000	1.0025	1.0050	1.0247

$|\Delta|$ が1より十分小さい場合には、 $\sqrt{1+\Delta} \doteq 1 + \text{} \times \Delta$ と近似できることがわかる。したがって、経路長の差 $l_2 - l_1$ は $\times \frac{h_1 h_2}{L}$ と近似できる。

水平面で反射するときに、波の強さは変化せず、位相だけが π ラジアン変化する場合を考える。自然数 n をもちいると、 h_2 が $\times \frac{\lambda L}{h_1}$ のときに直接波と間接

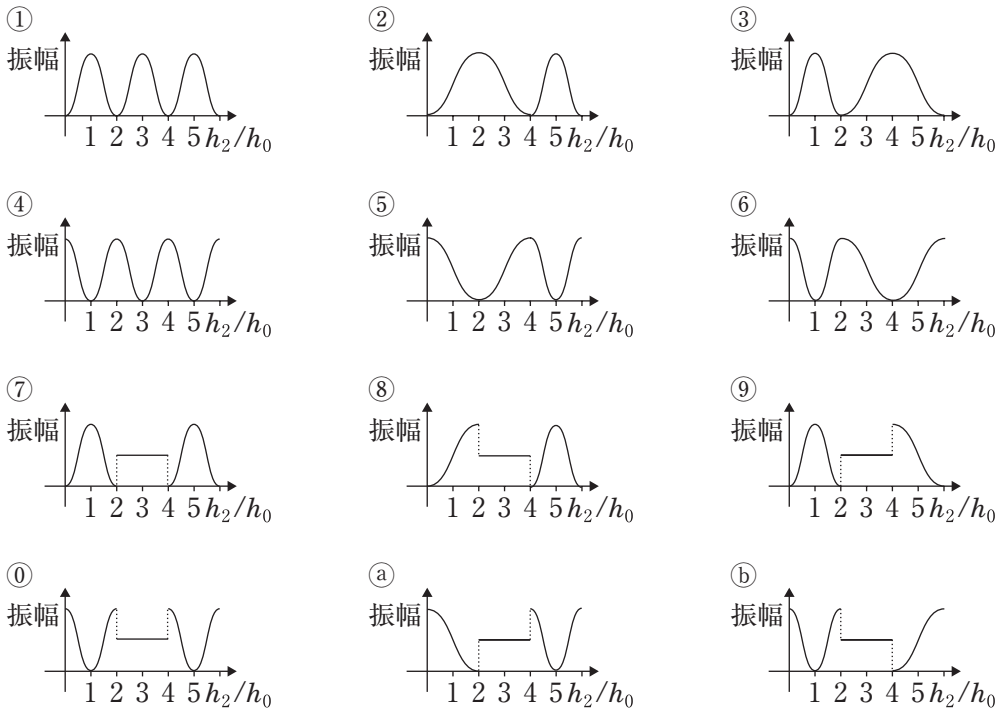
波は強め合う。

具体的に、 $L=2000\text{ m}$, $h_1=100\text{ m}$ で $\lambda=2\text{ m}$ の場合を考える。直接波と間接波が強め合うもっとも小さな h_2 は、27 m である。この高さを h_0 と呼ぶことにする。観測者の高さ h_2 が変化するとき、観測者の場所における直接波と間接波の合成波の振幅の変化を表しているグラフは 28 である。

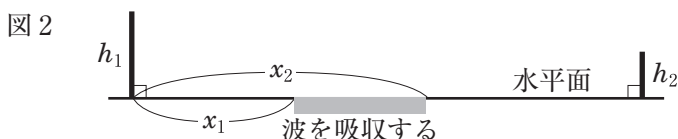
24 ~ 27 の解答群

- | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|----------------------------------|---|
| ① $\frac{1}{8}$ | ② $\frac{3}{2}$ | ③ 5 | ④ n | ⑤ $\frac{n}{2}$ |
| ⑥ $\frac{1}{4}$ | ⑦ 2 | ⑧ 10 | ⑨ $\left(n - \frac{1}{4}\right)$ | ⑩ $\frac{1}{2}\left(n - \frac{1}{4}\right)$ |
| Ⓐ $\frac{1}{2}$ | Ⓑ 3 | Ⓒ 20 | Ⓓ $\left(n - \frac{1}{2}\right)$ | Ⓔ $\frac{1}{2}\left(n - \frac{1}{2}\right)$ |
| Ⓕ 1 | Ⓖ 4 | Ⓗ 30 | Ⓙ $(n-1)$ | Ⓚ $\frac{1}{2}(n-1)$ |

28 , 31 の解答群



- (3) 図2のように、波源からの水平距離が x_1 以上で、かつ x_2 以下である水平面は、波を完全に吸収する場合を考えよう。この場合、観測者が高さ 29 以上で、かつ 30 以下にいる場合には、反射波は観測者には届かない。



具体的に、 $x_1 = 1430 \text{ m}$ 、 $x_2 = 1665 \text{ m}$ の場合を考える。ただし、他の条件は、小問(2)の具体例と同じである。観測者の高さ h_2 が変化するとき、観測者の場所における直接波と間接波の合成波の振幅の変化を表しているグラフは 31 である。

29 , 30 の解答群

- | | | | |
|---------|-----------------------|--|--|
| ① x_1 | ② $\frac{h_1 L}{x_1}$ | ③ $h_1 \left(\frac{L}{x_1} + 1 \right)$ | ④ $h_1 \left(\frac{L}{x_1} - 1 \right)$ |
| ⑤ x_2 | ⑥ $\frac{h_1 L}{x_2}$ | ⑦ $h_1 \left(\frac{L}{x_2} + 1 \right)$ | ⑧ $h_1 \left(\frac{L}{x_2} - 1 \right)$ |