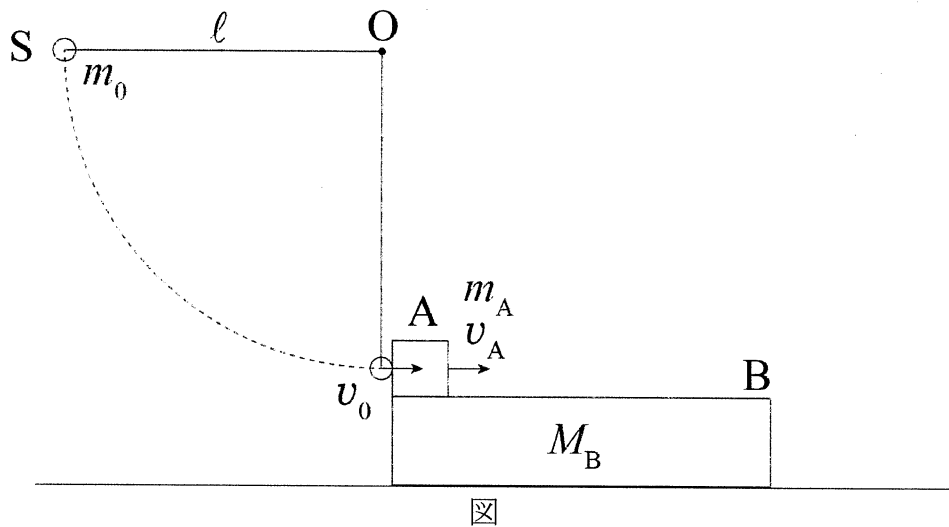


問題1 図のように、質量 m_A [kg] の物体 A が質量 M_B [kg] の長い水平な板 B の左端に静止した状態で置かれている。板 B はなめらかで水平な床の上であり、物体 A と板 B の間の動摩擦係数は μ' である。質量が無視できる長さ ℓ [m] の伸びない糸の一端を固定点 O に結び付け、他端に質量 m_0 [kg] の小球 S を取り付けた。この小球 S を糸がたるまない状態で固定点 O と同じ高さまで左側に持ち上げ静かに離したところ、点 O の真下で小球 S は速さ v_0 [m/s] で物体 A と衝突し、物体 A は速さ v_A [m/s] で板 B の上を滑りながら動いた。小球 S と物体 A の衝突は完全弾性衝突とし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。また、小球 S と物体 A の大きさは無視できるものとする。



- (1) 小球 S が物体 A に衝突する瞬間の速さ v_0 [m/s] を g と ℓ を用いて求めなさい。
- (2) 小球 S が物体 A と衝突した直後の速さ v [m/s] を m_0 , m_A , および v_A を用いて表しなさい。

小球 S と物体 A が衝突した後、物体 A は板 B から動摩擦力を受けながら板 B 上を滑り、しばらくして物体 A は板 B 上で静止した。その後、物体 A と板 B は一体となって速さ V_1 [m/s] で運動した。物体 A が板 B の上を移動している間、物体 A の加速度を a_A [m/s²]、板 B の加速度を a_B [m/s²] とする。以下の問いでは、 m_A , M_B , μ' , g , v_A のうち必要なものを用いて答えなさい。

- (3) 物体 A と板 B の加速度 a_A , a_B を、それぞれ求めなさい。
- (4) 板 B から見た物体 A の加速度 a_{BA} を求めなさい。
- (5) 小球 S と物体 A の衝突後、物体 A が板 B 上で静止し、一体となって運動するまでにかかる時間 t_1 [s] を求めなさい。
- (6) 物体 A と板 B が一体となって運動する速さ V_1 [m/s] を求めなさい。
- (7) 物体 A が板 B から落ちないための板 B の最小の長さ L_1 [m] を求めなさい。

問題2 空欄 から までに入る適切な語句，記号または式を記入しなさい。なお，同じ記号の空欄には同じ語句，記号または式が入る。

- I. 電気力線に垂直な単位面積を貫く電気力線の本数を，電気力線の密度という。 Q [C] の点電荷から N [本] の電気力線が出るとき，点電荷を中心とする半径 r [m] の球面上の点 P において，電気力線の密度は [本/m²] と表される。一方，クーロンの法則の比例定数を k [N・m²/C²] とすると，点 P における電場（電界）の強さは [N/C] と表される。 と が一致するものとするとき， N は Q と k で という等式で表される。 の関係は，電荷を中心とする球面に限らず，電荷 Q とそれを囲む任意の閉曲面を貫く電気力線の本数 N の間で成り立ち， の法則という。また，ある点における電場（電界）の向きは，電気力線の の向きで示される。
- II. 半導体であるケイ素 Si は 4 個の最外殻電子を持ち，それらが隣り合う原子との間を行き来することによって，安定な結晶をつくっている。これにリン P など 個の最外殻電子を持つ物質をドーピングすると，余った電子は自由電子となり結晶中を動き回る。また，アルミニウム Al など 3 個の最外殻電子を持つ物質をドーピングすると，電子が 1 個不足した部分が正電荷のように結晶中を動き回る。この電子が不足した部分を という。電子がキャリアとなる半導体を 型半導体， がキャリアとなる半導体を 型半導体という。 型と 型の半導体をはり合わせ，両端に電極を付けると， という素子になり，一方向のみに電流を流す整流作用を持つ。
- III. 抵抗値 R [Ω] の抵抗，自己インダクタンス L [H] のコイル，電気容量 C [F] のコンデンサーを直列に接続した回路を考える。この回路に角周波数 ω [rad/s] の交流電圧を加えたときに時刻 t [s] で流れる電流を $I_0 \sin \omega t$ [A] とすると，抵抗の両端の電圧は [V]，コイルの両端の電圧は [V]，コンデンサーの両端の電圧は [V] と表される。また，電源電圧を $ZI_0 \sin(\omega t + \alpha)$ [V] の形に書き， Z [Ω] と α を ω ， R ， L ， C で表すと， $Z =$ [Ω]， $\tan \alpha =$ となる。
- IV. (人名) は，電磁気理論の帰結の 1 つとして，電場（電界）と磁場（磁界）が変動しながら波として伝わる電磁波が存在することを予言した。真空中を電磁波が伝わる速さは，真空の誘電率 ϵ_0 [F/m] と真空の透磁率 μ_0 [N/A²] を用いて [m/s] と表される。電磁波は可視光線，赤外線，紫外線，電波，X 線， γ 線に分類され，この中で波長が最も長いものが ，最も短いものが である。 の中で波長が短く，衛星放送や電子レンジなどに利用されている波を という。

問題3 媒質を x の正の方向に波長 λ の正弦波が伝わっている。図1は、原点 $x=0$ における媒質の変位 $y(0, t)$ を示す。波は十分以前から伝わってきていたものとする。

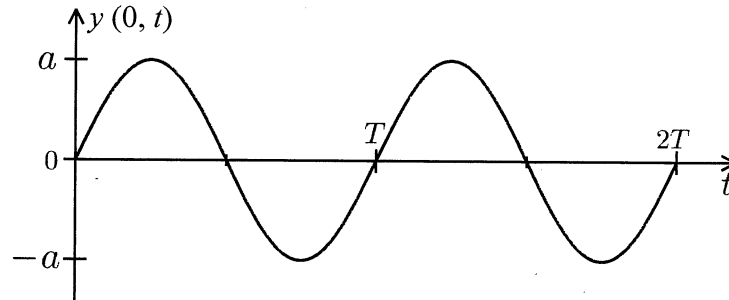


図1

- (1) この正弦波の振動数 f 、および伝わる波の速さ v を求めなさい。
- (2) 座標 x の位置の媒質の時刻 t における変位 $y(x, t)$ を求めなさい。

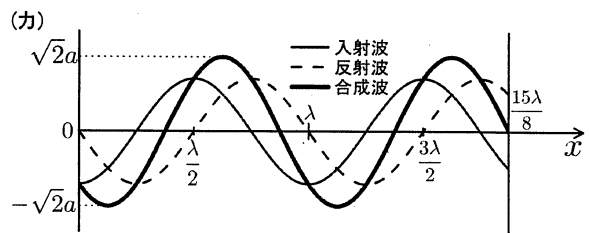
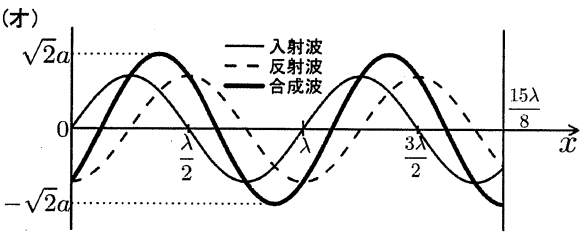
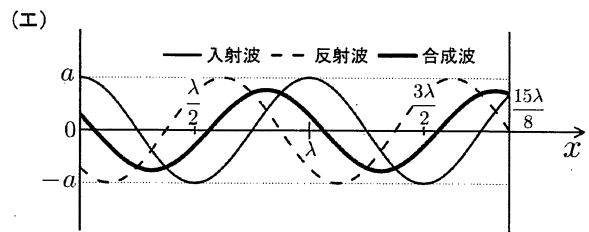
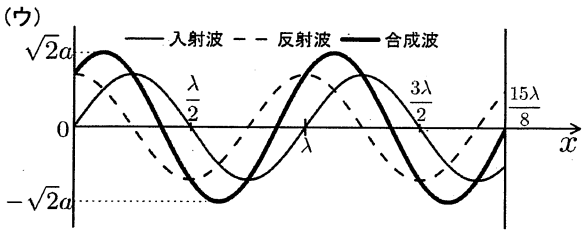
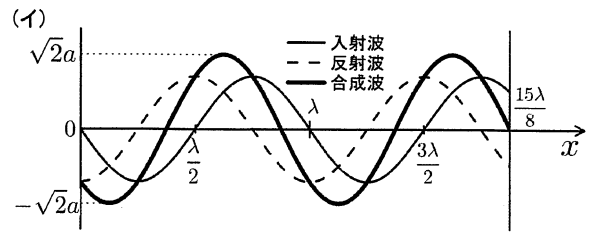
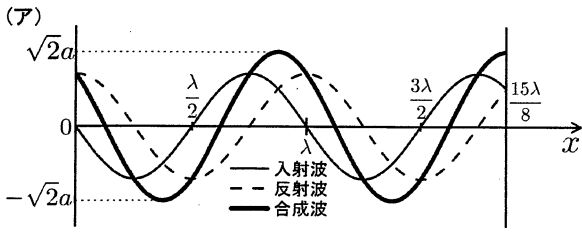
次に、 $x = x_0$ の位置に反射板を置いた。

- (3) 入射波がこの反射板で自由端反射する場合、反射板を時刻 t に出る反射波による媒質の変位 $y'(x_0, t)$ を求めなさい。
- (4) 入射波がこの反射板で固定端反射する場合、反射板を時刻 t に出る反射波による媒質の変位 $y''(x_0, t)$ を求めなさい。

これ以降、入射波は反射板で固定端反射する場合について考えなさい。

- (5) (4) の反射波による座標 x ($x < x_0$) の位置の媒質の時刻 t における変位 $y''(x, t)$ を求めなさい。
- (6) 反射板へ入射する波と反射板で反射された波が重ね合わさると、全く進行しない波が合成される場合がある。このような合成波の名称を答えなさい。
- (7) (6) の合成波の変位 $Y(x, t)$ を求めなさい。必要であれば、三角関数の和積の公式 $\sin A - \sin B = 2\cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2}$ を用いても良い。

- (8) (6) の合成波において、媒質が全く変位しない位置の座標を全て求めなさい。
- (9) 反射板が座標 $x = 15\lambda/8$ の位置にある場合、時刻 $t=0$ における反射板への入射波と反射板からの反射波、およびそれら二つの合成波のそれぞれの波形として正しい図を次のページの (ア) ~ (カ) から選びなさい。



問題4 以下の説明文を読み、その後の問いに答えなさい。

- I. 19世紀末までには、光は干渉や回折などの性質を示すことから、波の一種として理解されていた。しかし20世紀に入ると、効果やコンプトン効果などに関する精密な実験結果により、光を一種の粒子として取り扱うべき事例が示された。この取り扱いでは、光はとよばれる多数の粒子の集まりであり、1個のの持つエネルギー E [J] は光の振動数 f [Hz] とプランク定数 h [J·s] を用いて $E =$ [J] と表される。また、1個のの持つ運動量の大きさ p [kg·m/s] は光の振動数 f [Hz]、プランク定数 h [J·s] および光速 c [m/s] を用いると $p =$ [kg·m/s] と表される。
- II. 古くから原子は物質を構成する最小単位と考えられていたが、20世紀はじめまでには原子は原子核とから構成され、原子核は陽子と中性子から構成されることがわかってきた。なお、陽子と中性子を総称してとよぶ。
- 全ての素粒子には、その粒子と質量が同じで電気量などの符号が反対であるが存在する。粒子とは衝突して対消滅を起こす。その際、エネルギー・運動量などの保存則を満たすようにが生成されたり、さらに別の粒子とができる対生成とよばれる現象が起きたりする。なお、のはとよばれている。陽子のである反陽子は加速器によって生成することができる。
- の間にはたらき、原子核を構成する力をとよぶ。湯川秀樹は、「質量がとの間くらいの粒子が、間で交換されることによって、運動量などを運び、その結果としてが生じる」という理論を提唱した。湯川が予言したパイ中間子は、と同様、後に宇宙線の中に発見された。
- III. 放射性崩壊のうち、 α 崩壊は原子核が α 線を放出して別の原子核に変わる現象である。 α 線の正体はの原子核であるので、 α 崩壊後の原子核の質量数は減る。また、原子番号は減る。 β 崩壊は原子核が β 線を放出して別の原子核に変わる現象である。 β 線の正体は高速のであるので、 β 崩壊後の原子核の質量数は変わらない。また、原子番号は増える。
- (1) 空欄からを埋める適切な語句または式を記入しなさい。なお、同じ記号の空欄には同じ語句または式が入る。
- (2) 空欄からを埋める適切な数値を記入しなさい。