

# 物 理

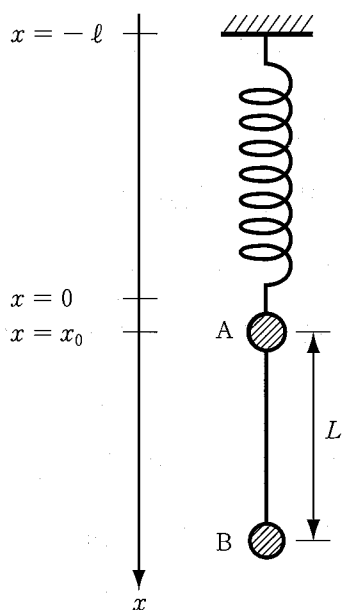
1. 以下の文章中の (ア) ~ (ケ) に適切な式を記入しなさい。なお、解答に  $x_0$  を用いてはならない。

天井から自然長  $\ell$ 、ばね定数  $k$  の軽いばねでおもり A をつるし、さらにおもり A から長さ  $L$  の軽い糸でおもり B をつるす。おもり A と B の大きさは無視でき、質量はそれぞれ  $M_A$ ,  $M_B$  である。鉛直下向きに  $x$  軸をとり、ばねが自然長のときのおもり A の位置を  $x = 0$  とする。速度、加速度は鉛直下向きを正とする。また、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

1) 図のように、ばねとおもりがつりあって静止しているときのおもり A の位置を  $x = x_0$  とすると、 $x_0 =$  (ア) である。このとき糸の張力の大きさは (イ) となる。

2) おもり A を  $x = x_1$  ( $x_1 > x_0$ ) の位置まで鉛直方向に引っ張り、静かに離したところ、糸はたるまずにおもり A と B が運動した。おもり A の位置を  $x = x_A$ 、加速度を  $a$  とすると、おもり A と B に関する運動方程式は、糸の張力の大きさ  $S$  を用いてそれぞれ  $M_A a =$  (ウ),  $M_B a =$  (エ) となる。これらの式から  $S$  を消去すると、おもり A は  $x = x_0$  を中心とする周期  $T =$  (オ) の単振動を行うことがわかる。また、糸がたるまないための  $x_1$  の条件は  $x_1 \leq$  (カ) である。

3) おもり A を  $x = 3x_0$  の位置まで鉛直方向に引っ張り、静かに離した。糸がたるみ始める時刻でのおもり A と B の速度は (キ) となる。その後、ふたたび糸が張るまでの間、おもり A は  $x =$  (ク) を中心とする振幅 (ケ) の単振動の式に従って運動する。ただし、糸の長さ  $L$  は十分に大きく、おもり A と B の衝突はないものとする。



2. 以下の文章中の (ア) ~ (ク) に適切な式を記入しなさい。 (ケ) には文章中の指示にしたがって適切なグラフを描きなさい。

面積  $S$  の極板 A, B からなる平行板コンデンサーを真空中に置く。真空の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。極板に対して垂直方向に  $x$  軸をとり、極板間の中央を  $x = 0$ 、極板 B から A への向きを正とする。極板、誘電体、金属板の端における電場の乱れは無視できるものとする。

1) 極板 A に正の電荷  $Q$ 、極板 B に負の電荷  $-Q$  を帯電させる。極板間の距離が  $D$  のとき、コンデンサー内に生じる電場の大きさは (ア)、極板間の電位差は (ア)  $\times D$  である。極板 B に蓄えられた電荷が極板 A の位置に作る電場の大きさは (ア) の  $\frac{1}{2}$  であること、電荷は自分自身の作る電場の影響を受けないことを考慮すると、極板 A が電場から受ける力の  $x$  方向成分は (イ) となる。

次に、図 1 のようにコンデンサーの中に面積  $S$ 、厚さ  $d$  ( $d < D$ ) の誘電体を極板と平行に挿入する。誘電体の中では電場は弱められ、真空中における電場の  $\frac{1}{\epsilon_r}$  ( $\epsilon_r > 1$ ) となる。このとき極板 A, B 間の電位差は (ウ)、極板 A にはたらく力の  $x$  方向成分は (エ) である。また、コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは  $U =$  (オ) であり、極板間の距離を  $D$  から  $D + \Delta D$  にわずかに変化させると  $U$  は  $-(エ) \times \Delta D$  だけ変化する。

2) 図 2 のように、極板 A, B をともに接地し、常に電位を 0 に保つ。極板間の距離を  $3D$  に固定する。面積  $S$ 、厚さ  $D$  の金属板に正の電荷  $Q$  を帯電させ、コンデンサーの中に極板と平行に挿入する。金属板の中央の  $x$  座標を  $X$  ( $-D < X < D$ ) とする。金属板を挿入してから十分時間が経ったとき、極板 A に蓄えられた電荷は (カ) となる。このとき、挿入した金属板にはたらく力の  $x$  方向成分は (キ) である。

次に、金属板を  $X = 0$  の位置に移動させ、 $x$  方向に貫通する小さな穴をあける。極板間および金属板内部の電場は、穴をあける前後で変化しないものとする。時刻  $t = 0$  に、負の電荷  $-q$  をもつ質量  $m$  の粒子を穴の延長線上  $x = D$  の位置に静かに置くと、粒子は周期  $T =$  (ク) の往復運動を始める。粒子の  $x$  座標が時刻  $t$  ( $0 \leq t \leq T$ ) とともに変化する様子を実線でグラフに描くと (ケ) となる。ただし、粒子の加速度が変化するすべての点を、描いた実線上に黒丸で示すこと。なお、粒子の運動に対する重力の影響は無視することができ、また極板間および金属板内部の電場は粒子の運動によって乱されないものとする。

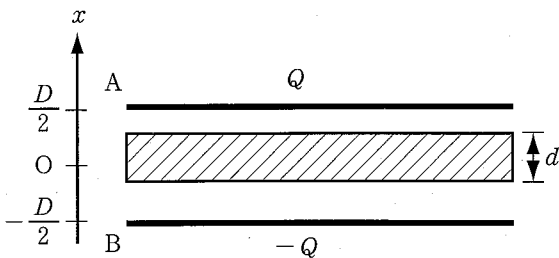


図 1

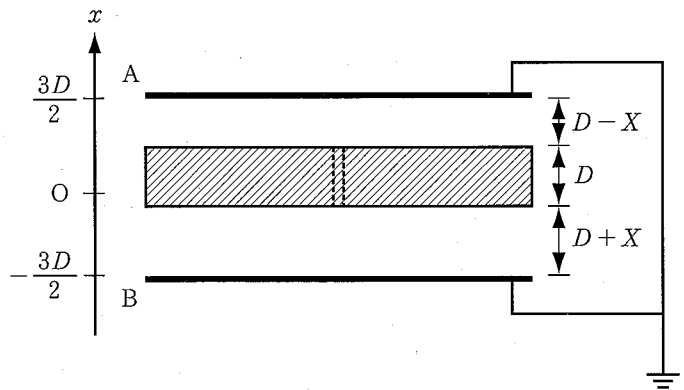


図 2

3. 以下の文章中の (ア) ~ (ケ) に適切な式を記入しなさい。

浅瀬に浮かぶ小さな模型ボートを考える。ボート A と C には振動数  $f$  で同心円状に水面波を発生させる装置を付け、ボート B でその水面波を観測する。水面波は水に対して一定の速さ  $V$  で伝わり、波の形状は崩れないものとする。ボートが移動することで発生する波は無視する。また以下では、速さ  $W$  および  $S$  は  $V$  に比べて十分小さいものとする。

1) 水の流れがない場合を考える。図 1 のようにボート B はボート A の北にある。ボート A は北向きに速さ  $W$  で移動し、ボート B は静止している。ボート A からボート B に伝わる波の隣り合う山と山の間隔は (ア) である。ボート B には波が速さ  $V$  で伝わるため、観測される波の振動数は (イ) となる。

2) 水の流れがない場合を考える。図 2 のようにボート B はボート A の北にあり、2 つのボートから西側に  $L$  だけ離れたところに南北方向の壁がある。ボート A は静止し、ボート B は南向きに速さ  $W$  で移動している。ボート B ではボート A から直接伝わる波と壁で反射して伝わる波が観測される。まず、直接伝わる波に着目する。波の隣り合う山と山の間隔は (ウ) である。ボート B から見た波の速さは  $V + W$  であるので、観測される波の振動数は (エ) となる。次に、壁に反射して伝わる波を考える。ボート A と B の間の距離が  $y$  のとき、ボート B の速度は、ボート B に伝わる波の進行方向に (オ) の成分を持つ。したがって、観測される波の振動数は (カ) となる。

3) 北から南に一定の速さ  $S$  の流れがある場合を考える。図 3 のように、ボート A, B, C は南から北に一直線に並んでいる。岸から見ると、ボート A と B は水の流れとともに速さ  $S$  で南に移動し、ボート C は止まっている。岸で反射する波は無視できる。ボート B が観測するボート A から伝わる波の振動数は (キ) で、ボート C から伝わる波の振動数は (ク) である。これら 2 つの波は 1 秒間に (ケ) 回のうなりを生じる。

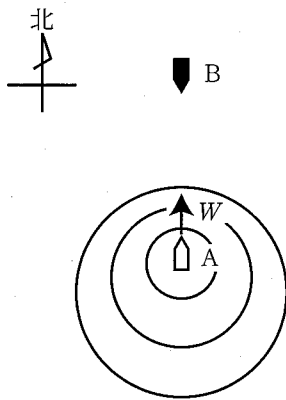


図 1

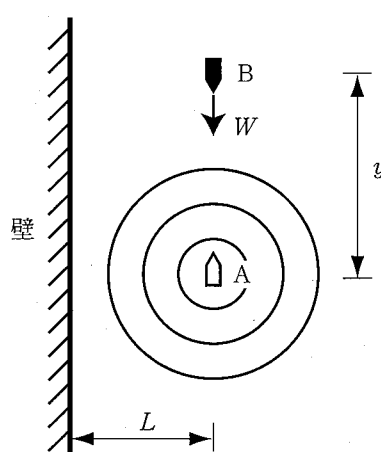


図 2

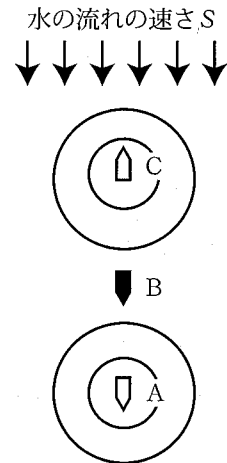


図 3