

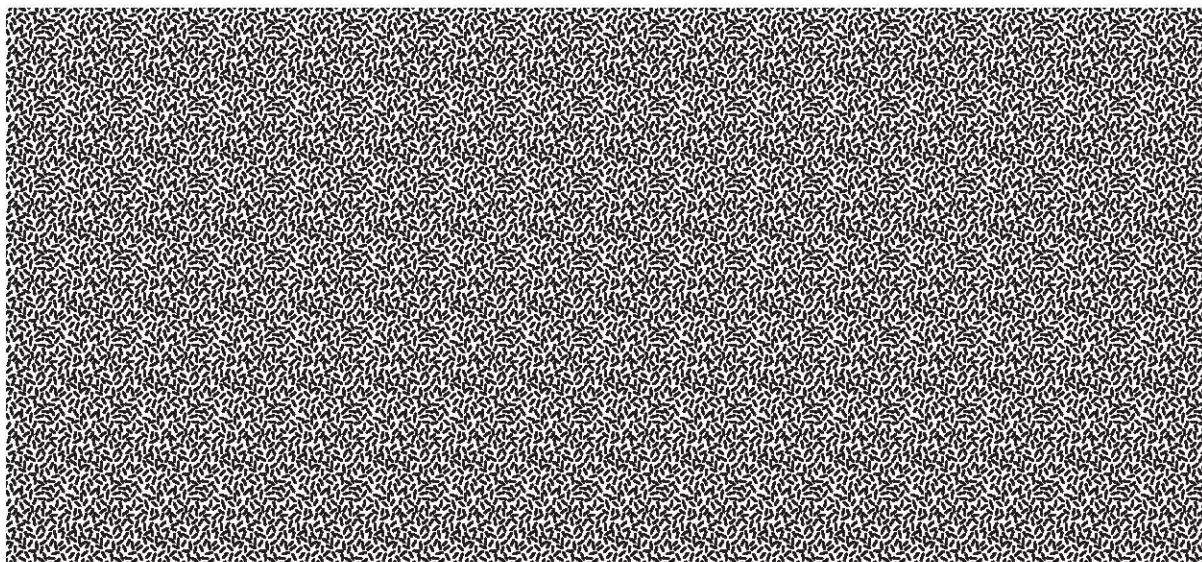
2025—(A)

☆ 物 理 問 題

13:00~14:15 (75分)

受験についての注意

- 試験開始の合図があるまで、問題を見てはいけません。
- 物理の試験用紙は、問題用紙1部(12ページ)、記述式解答用紙(1)1枚、記述式解答用紙(2)1枚、記述式解答用紙(3)1枚から構成されています。過不足があれば監督者に申し出てください。
なお、記述式解答用紙はセットになっています。監督者の指示に従って、解答用紙を破ったりしないよう注意して、ミシン目に沿って1枚ずつ切り離してください。
- 試験中に試験用紙の印刷の不鮮明、ページの欠落、乱れおよび解答用紙の汚れなどに気づいた場合は、監督者に申し出てください。
- 監督者の指示に従って、記述式解答用紙(3枚)の受験番号の記入欄に受験番号をそれぞれ2力所(計6力所)記入してください。また、氏名欄に氏名をそれぞれ1力所(計3力所)記入してください。
- 解答はすべてHBの黒鉛筆またはHBで0.5mm以上の芯のシャープペンシルで記入してください。
- 解答用紙は丁寧に取り扱ってください。
- 解答は、解答用紙の問題番号を十分に確認のうえ、解答用紙の各問指定の枠内に記入してください。解答用紙の裏面にはいっさい記入してはいけません。下書きなどには問題用紙の余白を利用してください。
- 解答中以外の解答用紙は必ず裏返しに置いてください。
- 受験中は不審な行動をとってはいけません。不正行為があれば当該年度の全入学試験を無効とします。
- 試験時間の途中で退場することはできません。
ただし、気分が悪いなど身体の調子が悪くなった場合は、手を挙げて監督者に申し出てください。
- 試験終了の合図と同時に解答をやめてください。
- 問題用紙は試験終了後、持ち帰ってください。



解答はすべて別紙の解答用紙に記入しなさい

[I] 多くのスマートフォンには、重力と加速度のベクトルとしての3成分を計測するための「加速度センサー」が内蔵されている。その原理は、センサー内で、直交する3軸方向のばねによって保持された重りの、重力と慣性力による変位を計測して、重力と加速度の値を得るものである。加速度センサーは、スマートフォンの傾きの検知や、カメラの手ぶれ補正などに使われる。

図1のようにスマートフォンに固定された x , y , z 軸を定義する。スマートフォンの画面を xy 面、画面の中央を座標原点 O とし、画面に正対したときのスマートフォンの上方向を y 軸の正の向きとする。上側の側面を y^+ 面、下側の側面を y^- 面と呼ぶ。画面の正面の向きを z 軸の正の向きとする。以下で、ベクトルは、この x , y , z 軸方向の成分で表す。

加速度センサーも含むスマートフォンの全質量を m とし、重心は O にあるとする。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるとして、以下の問(1)~(10)に答えよ。

(1) 慣性系において、スマートフォンの z 軸が鉛直上向きになっており、重力 $(0, 0, -mg)$ と重力以外の力 (F_x, F_y, F_z) が、すなわち両者を合わせて $(F_x, F_y, F_z - mg)$ の力がスマートフォンにはたらいているとすると、このときのスマートフォンの加速度の x , y , z 成分を答えよ。なお、スマートフォンは回転していないものとする。

(2) 加速度センサー内の重りの質量を M とする。スマートフォンが問(1)の加速度で運動しているとき、この重りには重力に加えて慣性力がはたらく。重りにはたらく力、すなわち重力と慣性力の和の x , y , z 成分を答えよ。

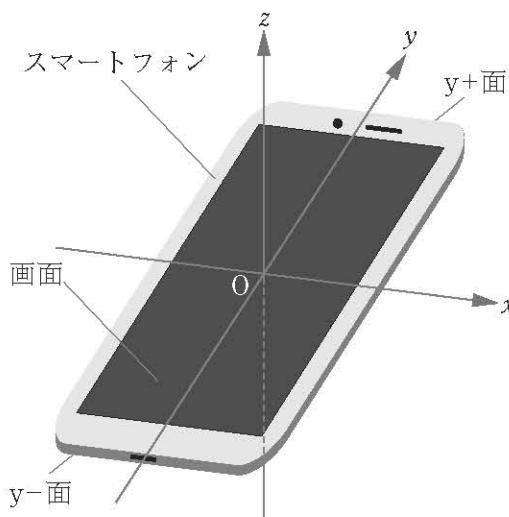


図1

加速度センサー内では、ばねで保持された加速度センサー内の重りの変位の x , y , z 成分が計測される。重りの変位の 3 成分は、重りにはたらく重力と慣性力の和の 3 成分にそれぞれ比例し、重力と慣性力が時間変化する場合も常にそれらに追随するものとする。こうして計測された重力と慣性力の和の x , y , z 成分（問（2）の答）を $-M$ で割った結果の 3 成分を、加速度センサーの計測値と呼び、 (A_x, A_y, A_z) で表す。加速度センサーは、その名前にもかかわらず、加速度をそのまま計測値として出力するものではないことに注意せよ。

(3) 水平面上にスマートフォンが画面を上向きにして置かれ、静止しているとき、スマートフォンには、重力 $(0, 0, -mg)$ と、水平面からの垂直抗力 $(F_x, F_y, F_z) = (0, 0, mg)$ がはたらいている。このときの (A_x, A_y, A_z) を答えよ。

(4) 図 2 のように、スマートフォンが x 軸を水平にし、 y 軸を水平面に対して 45° の斜め上向きにして静止しているときの (A_x, A_y, A_z) を答えよ。

(5) スマートフォンを、画面が水平上向きになるように保持した状態から、回転しないように静かに離して自由落下させた。落下中の (A_x, A_y, A_z) を答えよ。

(6) 図 3 のように、水平でなめらかな台の上に、画面を上向きにしてスマートフォンを置き、 y 面の中央に軽くてしなやかな糸を接続する。糸は台の角に取りつけた軽い滑車にかけて下に垂らし、その先にスマートフォンと同じ質量 m を持つ物体をぶら下げる。滑車はなめらかに回り、スマートフォンと滑車の間の糸は y 軸に平行かつ水平になっている。スマートフォンと物体が動いているときの (A_x, A_y, A_z) を答えよ。

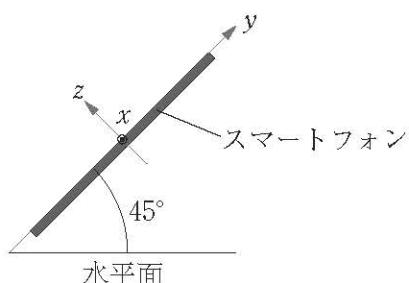


図 2

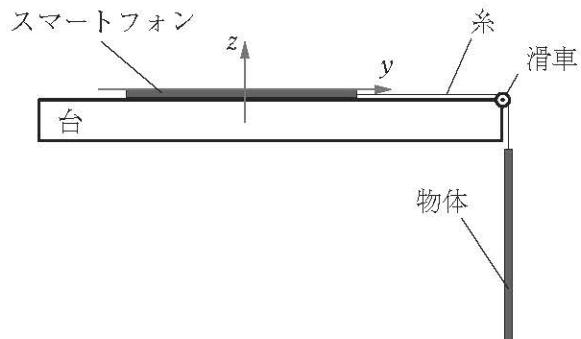


図 3

(7) 水平面に固定された半径 R のなめらかな半球面の頂上に、画面を上に向けてスマートフォンを置き、静止した状態から y -面をわずかな力で押し、図4のように半球面上を y -面の向きに滑らせた。球の中心とスマートフォンを結ぶ直線と鉛直線の間の角度を θ として、スマートフォンが半球面から離れずに滑っているときの (A_x, A_y, A_z) を答えよ。ただし、スマートフォンの大きさは R と比べて十分に小さいとする。

(8) 問(7)の状況でスマートフォンが球面上を滑った後、球面から離れるときの $\cos \theta$ の値を答えよ。

(9) 図5のように、水平に保持した車軸の周りを摩擦なく回転する車輪に、画面を外向きにし、その y 軸が車輪の外周の接線と平行になるように固定する。スマートフォンの大きさは車輪の半径と比べて十分に小さいとし、車軸とスマートフォンを結ぶ直線と鉛直線の間の角度を θ とする。 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ の位置に静止した状態から、スマートフォンの重さによってその y -面の向きに車輪が静かに回り始め、 $\theta = \frac{\pi}{2}$ となる場所をスマートフォンが通過するとき、 A_y と A_z の値はどうなるか。「(a) 正」「(b) 負」「(c) ゼロ」から適切なものをそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

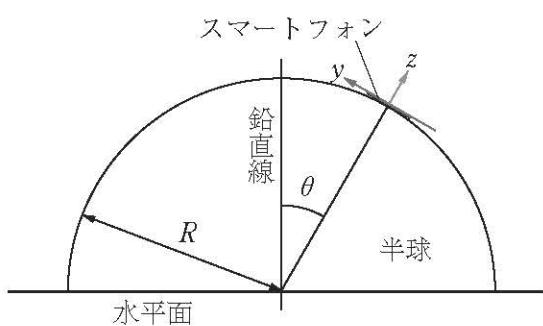


図4

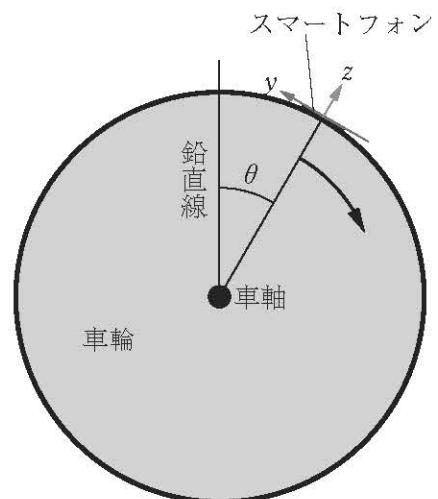


図5

(10) 図 6 のように、スマートフォンをその y 軸が鉛直上向きとなるようにして、 y +面の中央にはばね定数 k の軽いばねの端を固定する。ばねの他端にはスマートフォンと同じ質量 m を持つ物体を取りつけ、物体を保持してその下にはばねとスマートフォンをぶら下げた。全体が静止した状態から物体を静かに離したとき、離した直後の (A_x, A_y, A_z) を答えよ。

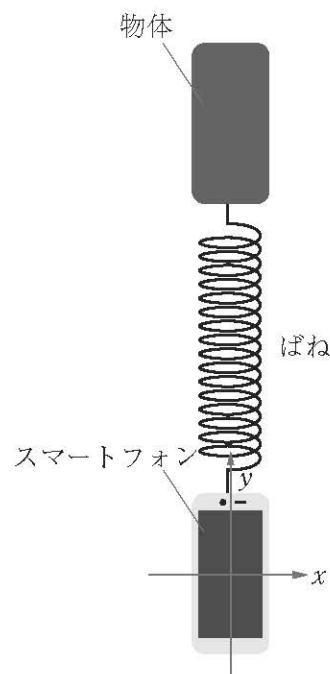


図 6

〔II〕 空気中を伝わる音波の速さを V とし、振動数 f_0 の音源が発する音波を観測者が観測する。音源と観測者が同一直線上を動くとして、以下の問(1)～(3)に答えよ。

(1) 風の影響がないものとして、以下の文章の空欄 (ア)～(カ) にあてはまる適切な式を答えよ。

音源が静止しているとする。この場合、この音源が発する音波の波長は (ア) である。また、音波の数は音波の1波長分を1個と数えると、静止している観測者が観測する1秒あたりの音波の数は (イ) 個である。

次に、図1のように音源が観測者から離れる方向に、地面に対して一定の速さ u ($V > u$) で動いており、音源が音波を出し始めてから1秒間経過したとする。音波の先頭と音源との距離 (ウ) に含まれる音波の数は (イ) であるから、音源から出た音波の波長は (エ) である。

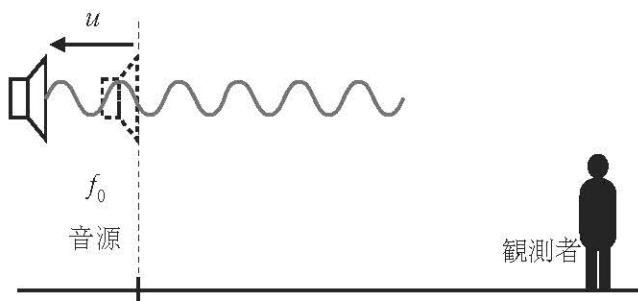


図1

今度は、音源が観測者から離れる方向に地面に対して一定の速さ u で動いており、さらに観測者が音源とは反対の方向に速さ v ($V > v$) で動く場合を考える。図2は、音源から出た音波の先頭が観測者の位置に到達後1秒経過したときの様子を表している。その間、音波の先頭は Q まで進んでいるが、観測者は O から O' まで動いている。この場合、空気中を伝わる音波の波長は (エ) で変わらないが、観測者は1秒間に距離 QO' の間に含まれる音波の数だけ観測することになる。 QO' は、(オ) と表されるから、観測者が観測する音波の振動数は (カ) となる。

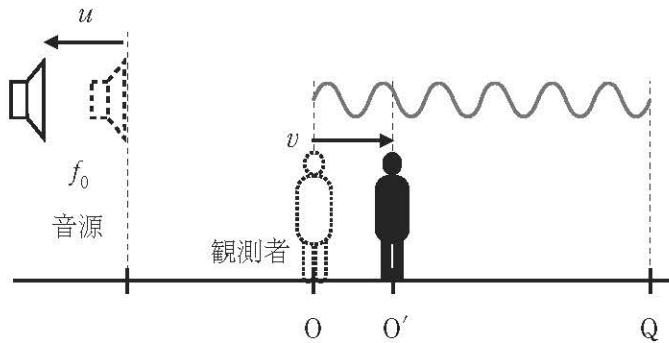


図 2

(2) 図 3 のように、音源と反射体、観測者が一直線上に並んでいる。音源と観測者は静止しており、音源は振動数 f_0 の音波を反射体の方向と観測者の両方向に出すことができる。風の影響はないものとして、次の問 (a)~(c) に答えよ。

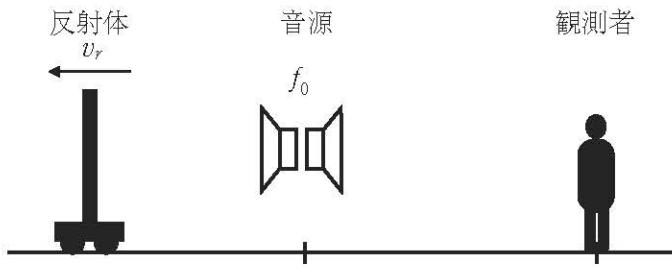


図 3

(a) 音源から反射体の方向にのみ音波が出るようにした。反射体が速さ v_r ($V > v_r$) で音源から遠ざかる方向に動くとき、反射体が受ける音波の振動数は f_0 から変化し、反射体がその変化した振動数の音波を観測者に向けて出すと考える。この場合の、観測者が観測する音波の振動数を答えよ。

(b) 次に、音源からの音波が 2 方向に出るようにした。観測者には、反射体で反射された音波のほかに、観測者方向の音波も観測される。この場合の、観測者が観測する音波のうなりの 1 秒あたりの回数を答えよ。

(c) 音速が $V = 3.44 \times 10^2 \text{ m/s}$ 、音源が出す音波の振動数が $f_0 = 4.00 \times 10^2 \text{ Hz}$ 、観測された 1 秒あたりのうなりの回数が 2.20×10^1 回であったとする。この場合の、反射体の速さを答えよ。

(3) 風の影響が無視できない場合について、次の問 (a), (b) に答えよ。

(a) 次の空欄 (キ)～(コ) にあてはまる適切な式を答えよ。

静止した空气中を伝わる音波の速さを V とし、音源から観測者に向かって風速が v_w ($V > v_w$) の風が吹いているとする。空气中を伝わる音波は、媒体である空気が速さ v_w で動くのだから、地面に対する、音源から観測者に向かう音波の伝わる速さは (キ) となる。観測者が静止し、風がないときに音源が速さ u で観測者から遠ざかる場合に観測者が観測する音波の振動数は (ク) であることを考えると、そこに風がある場合に観測者が観測する音波の振動数は (ケ) と表される。一方、音源が静止し、風が吹いているときに、観測者が速さ v で音源と反対の方向に動く場合に観測者が観測する音波の振動数は (コ) となる。

(b) 図4のように、静止している音源から出された振動数 f_0 の音波が、観測者から遠ざかる方向に v_r ($V > v_r$) の一定の速さで運動する反射体により反射され、音源の位置で静止している観測者が観測する。このとき、一定の風速 v_w ($V > v_w$) の風が反射体から観測者に向かって吹いている。音源、反射体および観測者が一直線上に位置するとき、反射体で反射された音波を観測者が観測するときの振動数を求めよ。

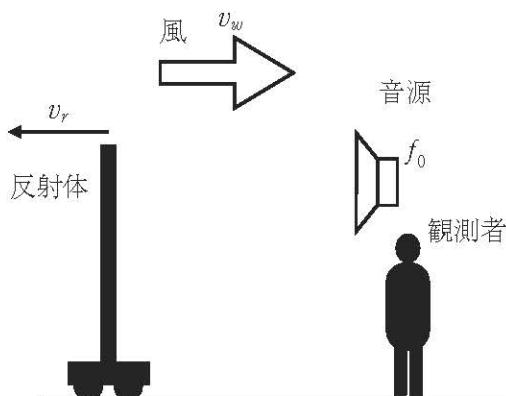


図4

〔III〕 コンデンサーに関する以下の問〔A〕, 〔B〕に答えよ.

〔A〕 導体でできた一辺の長さ a の正方形形状の 2 枚の極板を、真空中で距離 d だけ離して平行に向かいあわせてコンデンサーを形成する。真空の誘電率を ϵ_0 とする。 a は d と比べ大きいため端の影響は無視できるものとし、摩擦の影響は考えない。以下の問(1)~(7)に答えよ。

(1) このコンデンサーの電気容量 C を答えよ。

(2) 図 1 のように、起電力が V の電池をこのコンデンサーに接続する。十分時間が経過した後に蓄えられた電気量を C, V を用いて答えよ。

(3) 問(2)のときコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーを C, V を用いて答えよ。

(4) 図 2 のように、電池を接続したまま、長辺 a 、短辺 $\frac{a}{2}$ 、厚さ d の直方体状で比誘電率 ϵ_r ($\epsilon_r > 1$) の誘電体を、短辺を極板の端に沿わせてゆっくり挿入した。挿入後のコンデンサーの電気容量を、 a, d, C, ϵ_r のうち必要なものを用いて答えよ。

(5) 挿入後の静電エネルギーは問(3)と比べどれほど変化したか。増加の場合を正ととり、 a, d, C, V, ϵ_r のうち必要なものを用いて答えよ。

(6) 問(4)の操作中に電池が行った仕事を、 a, d, C, V, ϵ_r のうち必要なものを用いて答えよ。なお電池の内部抵抗で発生するジュール熱は小さく無視できるものとする。

(7) 問(4)の操作中、コンデンサーによって誘電体に一定の力がはたらいていた。この力 F の向きは、コンデンサー中に誘電体を引き込む方向か、それとも押し出す方向か。解答用紙の「引き込む」または「押し出す」を丸で囲んで答えよ。また F の大きさを、 a, d, C, V, ϵ_r のうち必要なものを用いて答えよ。

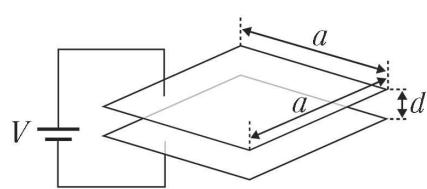


図 1

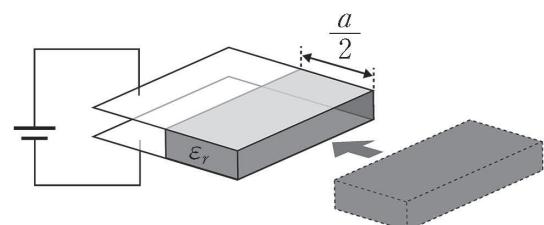


図 2

[B] 実際のコンデンサーと近い状況について考える。以下の問 (1)~(5) に答えよ。

(1) 実際のコンデンサーでは、電気容量を大きくするために、極板間を誘電体で満たす(図3)のに加え、極板の構造も工夫している。図4は、極板と同形の導体板を誘電体中に6枚挿入し、それらを様々に導体(図中の破線)で接続した状態を表す。最も電気容量が大きいのはどれか、選択肢 (a)~(h) の中から一つ選び、記号で答えよ。

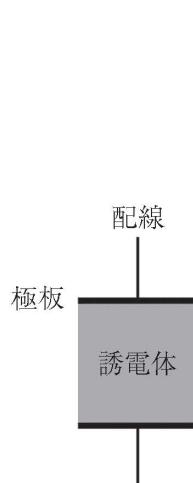


図3

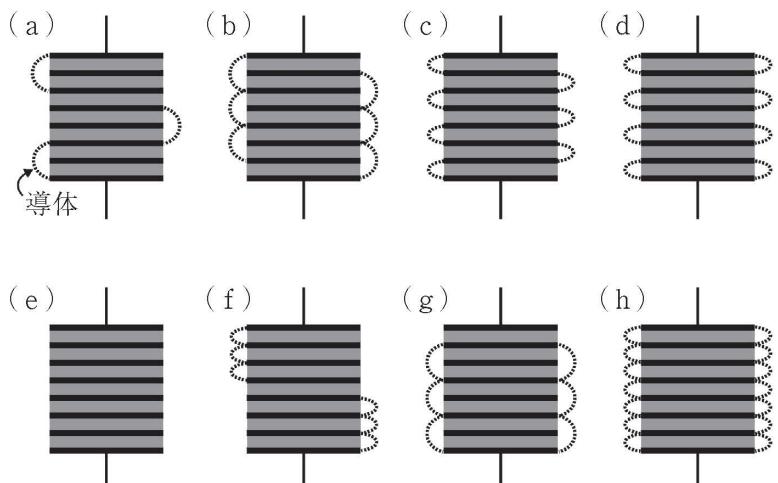


図4

実際のコンデンサーではまた、図5で模式的に表されるように、誘電体が有限の電気抵抗を持つ。この状況は図6に示すように、電気容量 C_0 のコンデンサーと抵抗 R との並列接続として表される。図6中の点bと点aに電源を接続し、点bに対する点aの電位が $V_0 \sin \omega t$ ($V_0 > 0$ とし、 ω は角周波数、 t は時刻を表す) となるような交流電圧をかけた。図6中の点aから点bの向きを電流の正の向きとする。

(2) 抵抗に流れる交流電流を t の関数として答えよ。

(3) 電気容量 C_0 のコンデンサーに流れる交流電流を t の関数として答えよ。

(4) 電源に流れる交流電流の最大値を答えよ。

(5) 図6の点aと点bの間で消費される電力 P の時間変化を表したグラフとして適切なものを図7の選択肢 (a)~(i) の中から一つ選び、記号で答えよ。ここでOは原点であり、縦破線は $t = \frac{2\pi}{\omega}$ を表す。

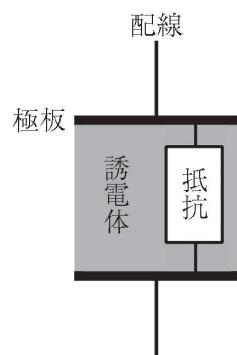


図 5

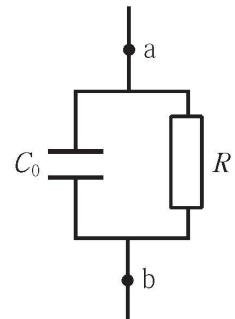


図 6

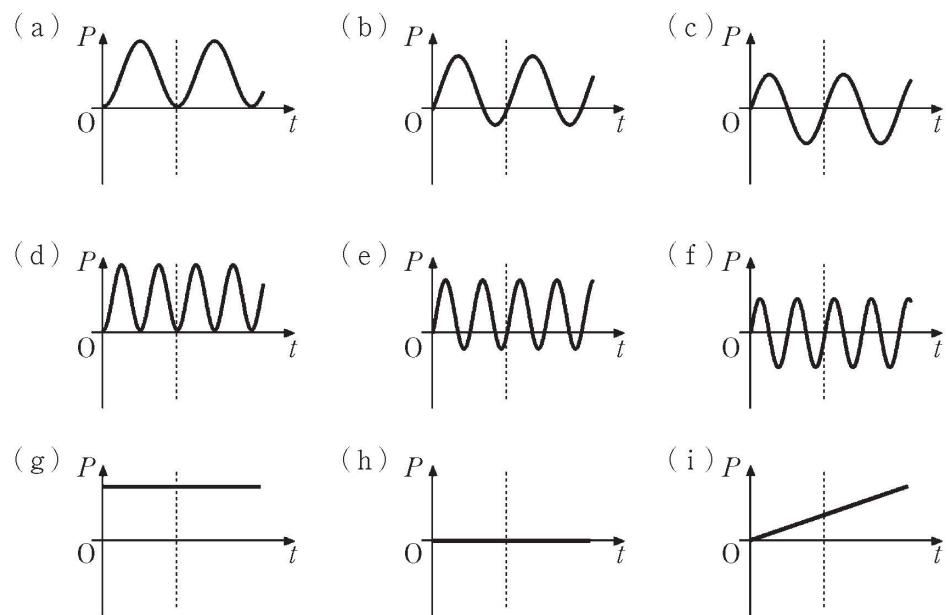


図 7

—— このページは白紙です。——