

物理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の各設問の答えをそれぞれの解答群から1つ選び番号で答えなさい。

(a) 以下の記述のうち適切なものはどれか。

- ① 複数の点電荷が空間にあるときは、電荷の配置によっては電気力線が交わることがある。
- ② 氷を静電界中におくと表面に分極電荷を生じ、内部の電界は外部からの電界よりも強くなる。
- ③ 静電界による力が働く空間では、最初静止していた電子は電気力線に沿って電界と逆向きに運動する。
- ④ 真空中に2つの点電荷 Q 、 $-Q$ があるとき、この2つを結ぶ線分の垂直2等分面上の電界は変化するが電位は変化しない。

(b) 以下の記述のうち不適切なものはどれか。

- ① 室温でも液体状態の金属がある。
- ② 大気圧が上昇すると水の沸点は上昇する。
- ③ 一定圧力において温度が上昇すると物質は膨張する。
- ④ 一定容積の容器に閉じ込めた気体を冷却すると圧力は下降する。

(c) 以下の記述のうち不適切なものはどれか。

- ① 凸面鏡によってできる像は正立虚像である。
- ② 日没直前の太陽は真の方向よりも浮き上がって見える。
- ③ 可視光に対するガラスの屈折率は波長が長いほど大きい。
- ④ ホイヘンスの原理は球面波だけでなく平面波についても成立する。

(d) 交流電源をヒーターに接続し電流を流した。ヒーター両端の電圧と電流に対して、接続した電圧計と電流計は100 V と4.2 A の読みを示した。このとき発生する熱を使って1.0 kg の水を20°C から100°C に加熱するには何秒かかるか。

- ① 190 ② 400 ③ 570 ④ 800 ⑤ 1100
- ⑥ 1600 ⑦ 3400

(e) 体重45 kg の人は100 g のカリウムを体内に有している。そのうちの0.012%が天然の放射性同位体 ^{40}K である。この人は ^{40}K について何ベクレル (Bq) の放射線源とみなすべきか。

^{40}K の半減期 T は 1.3×10^9 年である。時刻 $t=0$ において N 個の放射性原子が存在するとき、 t 秒間に崩壊する量 ΔN は $\Delta N = N \left(1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \right)$ で表される。半減期 T に比較して t が十分

に小さい場合、 ΔN は $\Delta N = \frac{Nt \log 2}{T}$ のように近似できる。カリウムの原子量を40、アボガドロ数を $6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、1年を 3×10^7 秒、 $\log 2 = 0.7$ として計算せよ。

- ① 1×10^2 ② 3×10^2 ③ 1×10^3 ④ 3×10^3 ⑤ 1×10^4
- ⑥ 3×10^4

II 次の文章の , , には適切な数式を記入し, , , には適切な文章や図を記入せよ。

図1に示すように, 固定された平板上に1辺の長さが L の立方体 A をおき, 両側面に糸を付け, それぞれ張力 T_0 および T_1 で糸を引いた。立方体 A と平板との静止摩擦係数は μ , 立方体の両側面と糸とのなす角度はそれぞれ θ ($0 < \theta < \pi/2$) である。立方体 A は平板に対して平行にし、か動かない (回転しない) とする。 $T_0 = T_1$ の状態から, T_0 のみを少しずつ増加させたとき, 立方体 A がすべりはじめる直前の T_0 を T_1 をもちいて表すと,

$$T_0 = \boxed{\quad 1 \quad} \tag{1}$$

となる。(1)式の導き方を に記述せよ。

つぎに, n 個の立方体 A を固定された正 n 角柱の各側面におき, 互いに糸で結んだ。正 n 角柱の1辺の長さは L であり, 立方体 A と正 n 角柱との静止摩擦係数は μ である。糸の張力を順に T_0, T_1, \dots, T_n とする。図1の場合と同じように, n 個の立方体 A と $n+1$ 本の糸とのなす角 θ は全て等しいとする。図2は $n=3$ の場合の例である。 θ を n で表すと, $\theta = \boxed{\quad 3 \quad}$ である。 $T_0 = T_n$ の状態から少しずつ T_0 のみを増加させたとき, n 個の立方体 A がすべりはじめる直前の T_0 を T_n をもちいて表すと,

$$T_0 = \boxed{\quad 4 \quad} \tag{2}$$

となる。(2)式の導き方を に記述せよ。

$n = \infty$ のときの(2)式を考慮すると,

$$T_0 \leq T_\infty e^{2\pi\mu} \tag{3}$$

となる場合にはすべりが起こらないことが導かれる。ここで, $e = 2.718\cdots$ である。

(3)式が表すような現象の具体例を に説明せよ。

図 1

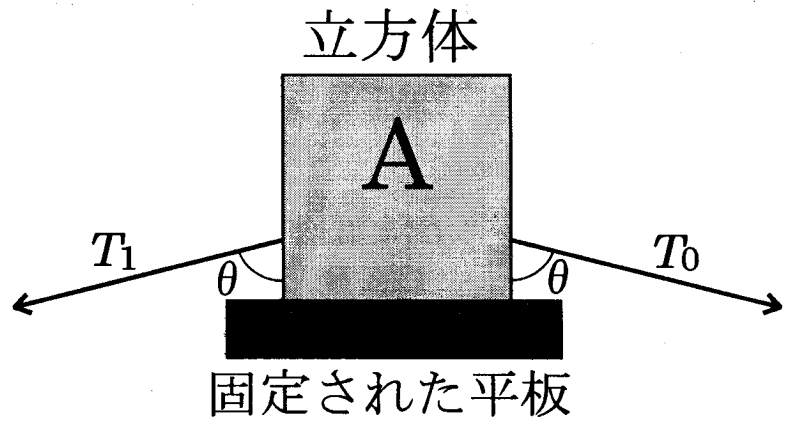
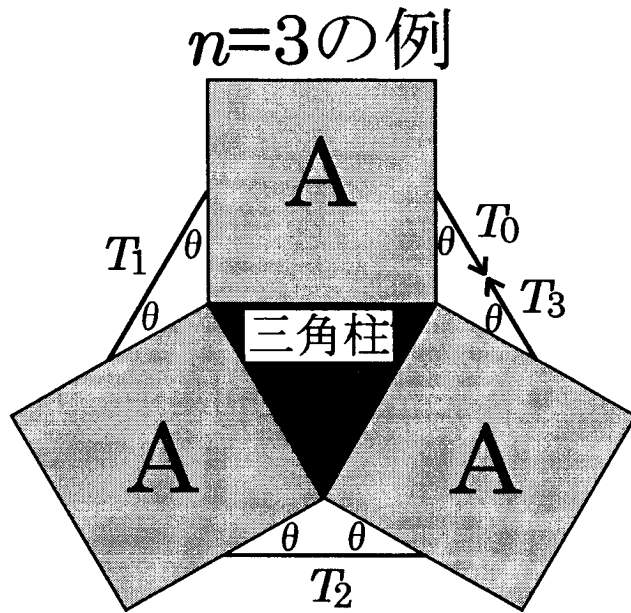


図 2

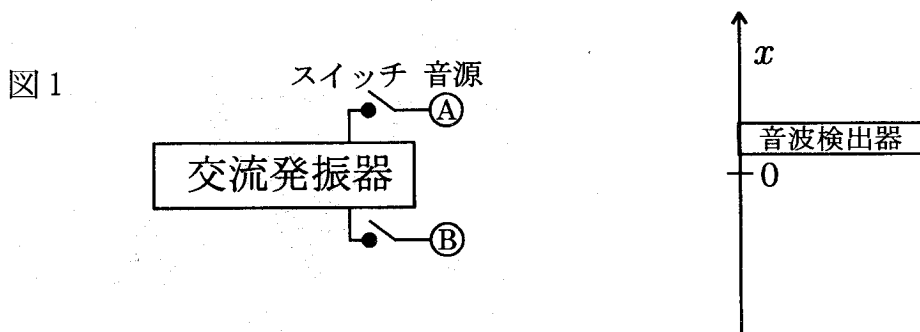


Ⅲ 次の文中の **ア** から **サ** に適するものをそれぞれの解答群から選び番号で答えよ。同じ図または同じ語句を何回選んでもよい。

人は音を鼓膜の振動によって聞く。人が聞くことのできる音の最大振動数はおよそ $2 \times$ **ア** Hz であり、最小振動数はおよそ $2 \times$ **イ** Hz である。空気中の音速は $1.2 \times$ **ウ** km/h である。

空気中を伝わる音は、空気の密度が波のように変化しながら進むので音波ともいわれる。空気の密度が高い部分は圧力が高く、密度が低い部分は圧力が低い。したがって、空気中の音波は大気圧を中心として振動する圧力波であり、聴覚やマイクロホンなどの音波検出器は音波による空気圧の変化（音圧）を検知する。

音波の干渉する性質を図1のような装置で調べてみよう。1つの正弦波交流発振器により駆動される同一構造の音源 A と B があり、スイッチを切りかえることで A と B の両方または単独で音波を発生することができる。音源 A, B の大きさは音波の波長と比較して十分に小さい。音源 A と B は音波の波長の10倍離れて置かれている。図1の x 軸は音源 A, B を結ぶ線分に平行であり、 x 軸の原点は音源 A と B から500波長離れた場所にある。 x 軸上には音波検出器がおかれている。音波検出面は音波の波長と比較して十分に小さい。

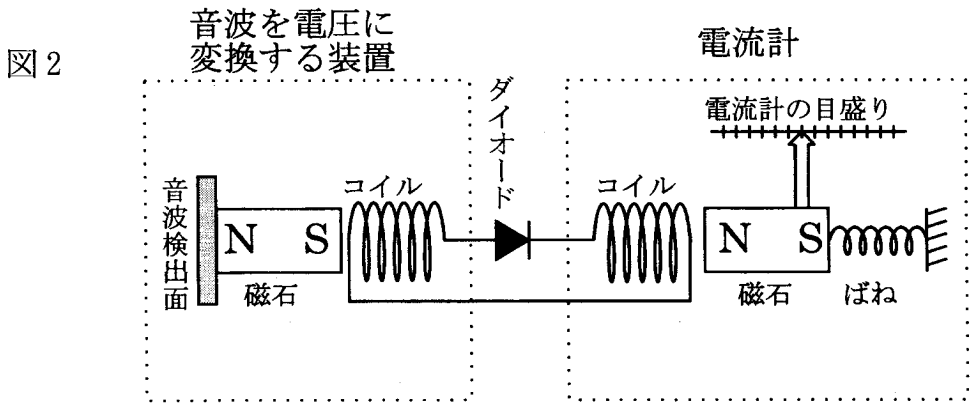


理想的な音波検出器は、音圧の絶対値を時間平均した量に比例する値を出力すると仮定する。すなわち、 t を時間として、音圧を $\phi(t) = a \sin(\omega t + \delta)$ とすれば、理想的な音波検出器は $|a|$ に比例した値を出力する。このことを、理想的な音波検出器は音圧 $\phi(t)$ に対して、 $\langle |\phi(t)| \rangle$ を出力すると書くことにする。ここで $\langle \rangle$ は時間平均をあらわす。

音源 A 単独で放射される音波の x 軸上での音圧を $\phi_A(x, t)$ とすれば、理想的な音波検出器に検出される値は $\langle |\phi_A(x, t)| \rangle$ である。 $\langle |\phi_A(x, t)| \rangle$ を図示すると **エ** のようになる。つぎに、音源 B のみの音波放射において x 軸上での音圧を $\phi_B(x, t)$ とすれば、 $\langle |\phi_B(x, t)| \rangle$ は $\langle |\phi_A(x, t)| \rangle$ とほとんど一致するので等しいとしてよい。音源 A と B の両者から同時に音波を放射した場合の値は $\langle |\phi_A(x, t) + \phi_B(x, t)| \rangle$ となる。 $\langle |\phi_A(x, t) + \phi_B(x, t)| \rangle$ と $\langle |\phi_A(x, t)| \rangle + \langle |\phi_B(x, t)| \rangle$ を図示すると、**オ** のようになる。

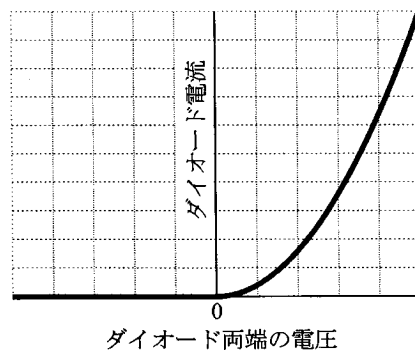
実際の装置を用いた計測では、 $|a|$ に比例した値である $\langle |\phi(t)| \rangle$ を得ることは難しい。ここで

は、図2に示す構造の音波検出器を用いる場合を考える。音波を電圧に変換する装置は、質量の小さい磁石を音波によって動かし、**カ**によりコイルに電圧を発生させる。電流計の内部にはコイルがあり、コイルに電流を流して発生させた磁場で磁石を動かす。磁場による力と磁石に接続されているばねの力とが釣り合った位置により電流を計測することができる。



音波を電圧に変換する装置からは**キ**が得られるが、直流電流計に接続しても電流を測定できない。そこでダイオードを用い**ク**して電流計に接続した。使用したダイオードの両端の電圧と電流との関係は図3のようにになっている。電流計内部の磁石の位置を安定に観測するためには、磁石の質量とばねのばね定数で決まる単振動の振動数を音波の振動数に対して**ケ**する必要がある。このようにすると、電流計内の磁石に固定された針は電流計内のコイルに流れる電流の平均値に比例する位置でほとんど静止する。また、電流計内のコイル両端の電圧は十分に小さく無視できると仮定する。

図3



音源 A を単独で用いて電流計の針の振れを記録した結果を $I_A(x)$ 、音源 B を単独で用いて電流計の針の振れを記録した結果を $I_B(x)$ 、音源 A および B を同時に用いて電流計の針の振れを記録した結果を $I_{AB}(x)$ とすると、 $I_{AB}(x)$ および $I_A(x) + I_B(x)$ は**コ**のようになる。

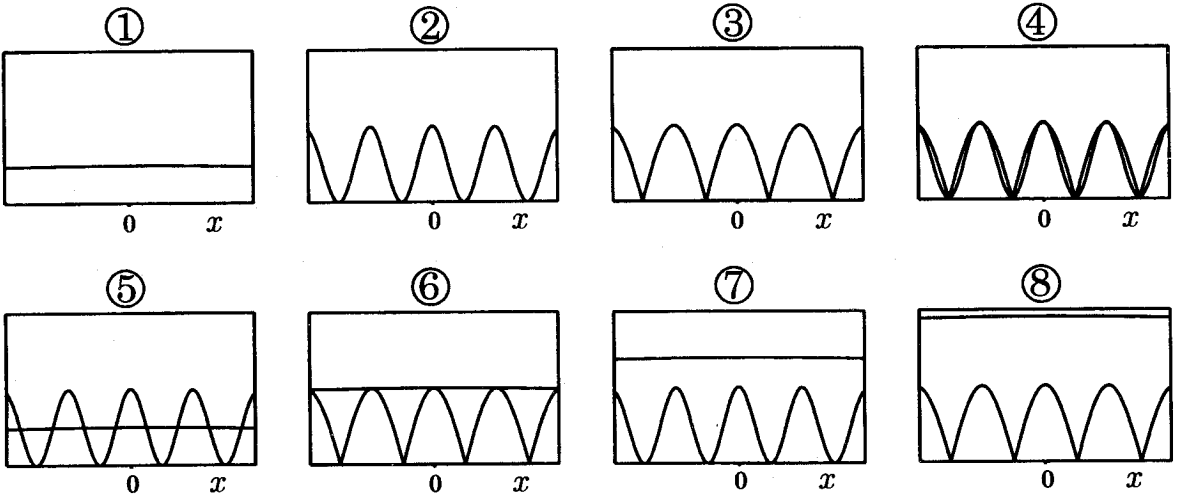
光も音波と同様に干渉する。2つの音源を干渉する2つの光源におきかえ、音波検出器を単位時間あたりの光電子数を計測する装置におきかえて考えると同様の干渉が観測できるはずである。光源 A のみで光電子数を測定した結果を $N_A(x)$ 、光源 B のみで光電子数を測定した結果を $N_B(x)$ 、光源 A と B を同時に用いて光電子数を測定した結果を $N_{AB}(x)$ とすると、 $N_{AB}(x)$ および

$N_A(x) + N_B(x)$ は **サ** のようになる。ただし、単位時間に単位面積を通過する光子数は電磁波としての光の電場振幅の 2 乗に比例し、光源 A および B から放射される光子の総数は干渉後も変化しないとする。

ア, **イ**, **ウ** の解答群

- ① 10^1 ② 10^2 ③ 10^3 ④ 10^4 ⑤ 10^5

エ, **オ**, **コ**, **サ** の解答群



カ の解答群

- ① 静電誘導 ② 誘導磁場 ③ 電磁誘導 ④ 自己誘導 ⑤ 誘導力

キ の解答群

- ① 電荷 ② 磁荷 ③ 静電気 ④ 直流 ⑤ 交流

ク の解答群

- ① 増幅 ② 整流 ③ 平均化 ④ 対称化 ⑤ 極性反転

ケ の解答群

- ① わずかに大きく ② 十分に大きく ③ わずかに小さく
④ 十分に小さく ⑤ 等しく