物理基礎・物理　（その１）

第１問　図１のように，水平な地表面上に x 軸と y 軸を設定する。x 軸と y 軸は直交している。飛行機が y 軸の上方 490 m を速さ 50 m/sで y 軸正の向きへ水平に飛んでいる。この飛行機が xy 座標の原点 O の真上(鉛直上方) を通過した瞬間に小球を投げ出す場合を考える。空気抵抗は無視できるものとし，重力加速度の大きさを 9.8 m/s^{2}として以下の問いに答えよ。数値については，<u>**有効数字２桁**</u>で答えること。

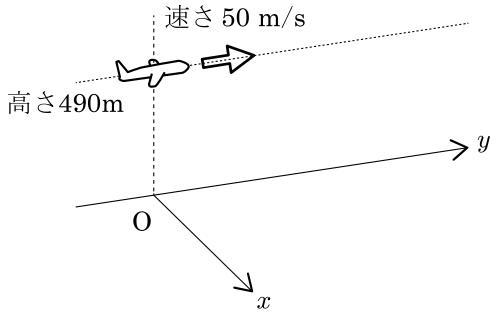


図１

小球を水平方向に投げ出すとする。飛行機に対する小球の速度をある向きである大きさにしたら，小球が原点 O に落下した。

問１　小球を投げ出す速度(飛行機からみた速度) の大きさと向きを答えよ。向きを答えるには，どの軸の正負どちら向きかを答えること。

問２　小球が投げ出されてから地表に達するまでにかかる時間を求めよ。

次は，小球を飛行機に対して 速さ 4.9 m/s で x 軸正の向きに投げ出した場合を考える。

問３　落下地点の x，y 座標をそれぞれ求めよ。

今度は，小球を飛行機から見て真下向き(飛行機に対する相対速度が鉛直下向き) に速さ 49 m/ s で投げ出した場合を考える。

問４　落下地点の x，y 座標をそれぞれ求めよ。

物理基礎・物理　（その２）

第２問　極板面積 S，極板間隔 d の平行板コンデンサーを考える。真空の誘電率を ε_0 とする。

問１　極板間が真空である場合のこのコンデンサーの電気容量を答えよ。

問２　**図２a** のように，このコンデンサーの極板間に，厚さ d で比誘電率 ε_r の誘電体を挿入した場合のコンデンサーの電気容量を答えよ。ただし，誘電体が占める部分の面積は $S/2$ である。

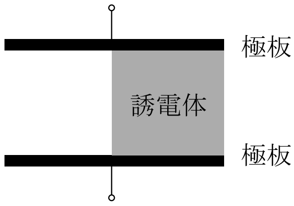


図２a

問３　**図２b** のように，このコンデンサーの極板間に，厚さ $d/2$ で比誘電率 ε_r の誘電体を挿入した場合のコンデンサーの電気容量を答えよ。ただし，誘電体が占める部分の面積は極板面積と等しい。

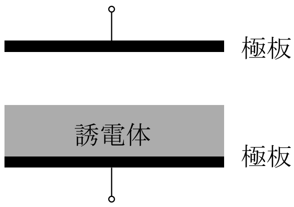


図２b

　このコンデンサーの極板間に誘電体が入っていない状態でコンデンサーに電池を接続した。十分に時間が経過すると，コンデンサーに電気量 Q が充電された。

問４　極板間の電場の強さを答えよ。

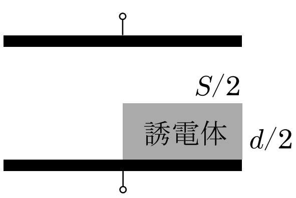
　接続した電池をコンデンサーから取り外し，比誘電率 ε_r の誘電体を極板間に隙間なく挿入した。この際，極板に帯電している電荷が逃げることはなく，以下，コンデンサーは充電されたままであるものとする。

問５　極板間の電場の強さを答えよ。

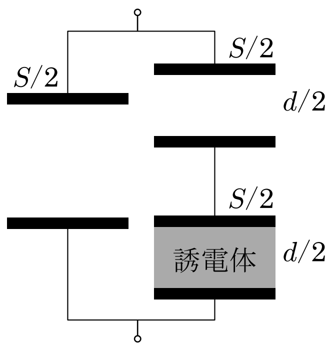
問６　正に帯電した極板側の誘電体表面に，誘電分極によって生じている電荷の総量を答えよ。

問７　極板間の誘電体を取り除いてから，今度は**図Ａ**のように，極板間に，厚さ $d/2$ で比誘電率 ε_r の誘電体を挿入した。誘電体が占める部分の面積は $S/2$ である。このコンデンサーと等価になるのは**図Ｂ**，**図Ｃ**のどちらか。理由とともに答えよ。図を描いてもよい。

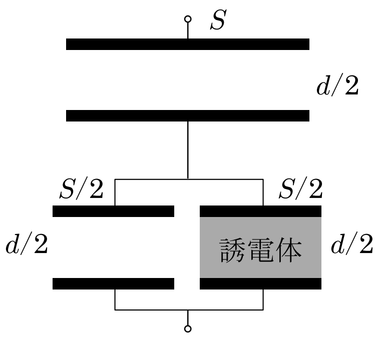
　ただし，**図 Ｂ** と**図 Ｃ** の各コンデンサーは，図に示した通り，極板面積は S もしくは $S/2$ で，極板間隔は d もしくは $d/2$ であり，誘電体の比誘電率は ε_r である。



図Ａ



図Ｂ



図Ｃ

物理基礎・物理　（その３）

第３問　結晶構造を持つある物質を考える。この物質中では，横方向に原子が一定間隔に並んで結晶面（平面）を作り，この結晶面が一定間隔 d で平行に何枚も並んでいるとする。このような物質にX線を当てて，反射X線が作る干渉模様を見ることで結晶の構造を知ることができる。以下，入射X線の位相はそろっており，入射X線と反射X線の波長はどちらも λ で，反射X線が結晶面となす角度は入射X線が結晶面となす角度に等しいものとする。

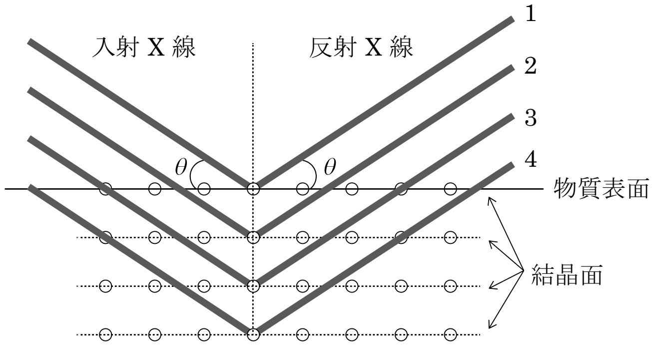


図３a

まず，**図３a** のように物質表面が結晶面と平行である場合を考える。入射X線が物質表面となす角度を θ と表す（$0° < \theta < 90°$）。

問１　**図３a** に示す反射X線１と２に注目する。この２本のX線が強め合う条件と，弱め合う条件をそれぞれ書け。その際，n をある自然数として用いよ。

図３a に示す４本の反射X線に注目する。すべての反射X線の波の振幅は等しく A である。

問２　**問１**の弱め合う条件が満たされている場合，反射X線１と３の合成波の振幅はいくらか。

問３　**問１**の弱め合う条件が満たされている場合，４本の反射X線の合成波の振幅はいくらか。

以上より，結晶面の数が十分に多い場合，**問１**の強め合う条件を満たす場合に反射X線は全体として強め合うことが分かる。

問４　入射X線が物質表面となす角度 θ を θ_1 にすると反射X線が強め合った。入射する角度をこの θ_1 から徐々に大きくするとこの強め合いは一旦消えたが，入射する角度が θ_2 のときに再び反射X線が強め合った。このことから分かる d，λ，θ_1，θ_2 の間の関係式を答えよ。

今度は，**図３b** のように物質の表面が結晶面と平行ではない場合を考える。物質表面と角度 40° をなすようにX線を入射すると，反射X線は物質表面と角度 50° をなす方向に進み強め合った。

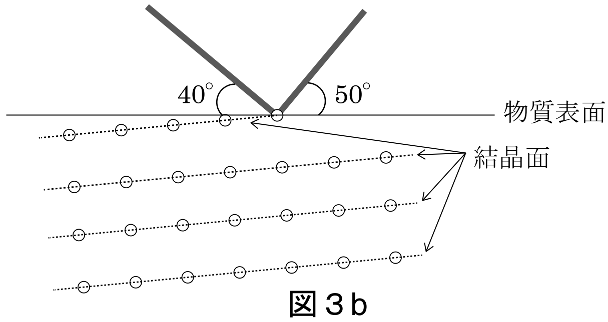


図３b

問５　結晶面が物質の表面となす角度は何度か。0° ～ 90° の間の数値で答えよ。

問６　入射する角度を 40° から徐々に大きくすると，次に角度が 55° のときに反射X線が強め合った。結晶面の間隔 d は λ の何倍か。

物理基礎・物理　（その４）

第４問　物質量 n，体積 V，圧力 p，絶対温度 T の単原子分子理想気体を考える。次の文章は，この気体を等温膨張させた場合の体積変化に対する圧力の変化率と，断熱膨張させた場合の体積変化に対する圧力の変化率の関係を求めるものである。文章中の**ア** ～ **カ**に当てはまる数式や数字を答えよ。ただし，気体定数を R とする。

以下，体積を微小量 ΔV（>0）だけ膨張させたときの圧力の変化分を Δp と表す。

$$\Delta p = （変化後の圧力）-（変化前の圧力）$$

である。

まず，この気体を等温膨張させる場合を考える。体積を ΔV だけ膨張させた後の気体の状態方程式を n，V，p，T，Δp，ΔV，R の中から必要な記号を用いて書くと（　**ア**　）となる。膨張前後の状態方程式から，等温膨張の場合の体積変化に対する圧力の変化率 $\dfrac{\Delta p}{\Delta V}$ を求めることができる。計算過程で微小量の積 $\Delta p\,\Delta V$ を無視する近似を用いると，$\dfrac{\Delta p}{\Delta V}$ ＝（　**イ**　）が得られる。［（　**イ**　）は V と p を用いて書き表せ。］

次に，この気体を断熱膨張させる場合を考える。この場合の絶対温度の変化分を ΔT，内部エネルギーの変化分を ΔU とする。ただし，温度と内部エネルギーが増える場合にそれぞれ，ΔT と ΔU を正とする。ΔU は ΔT を使って（　**ウ**　）と表すことができる。
［（　**ウ**　）は n，R，ΔT の中から必要な記号を用いて書き表せ。］
また，熱力学第１法則と $\Delta p\ \Delta V$ を無視する近似を用いると，ΔU は ΔV を使って（　**エ**　）と表すこともできる。［（　**エ**　）は p，V，T，ΔV の中から必要な記号を用いて書き表せ。］
これらのことと，膨張前後の状態方程式を考え合わせることで，断熱膨張の場合の体積変化に対する圧力の変化率を求めることができる。計算の過程で，微小量の積 $\Delta p\,\Delta V$ を無視する近似を用いると，$\dfrac{\Delta p}{\Delta V}$ ＝（　**オ**　）が得られる。［（　**オ**　）は V と p を用いて書き表せ。］

以上より，体積と圧力が共通であれば，断熱膨張における体積変化に対する圧力の変化率は，等温膨張における体積変化に対する圧力の変化率の（　**カ**　）倍であることが分かる。