物理

［
◆機械工学科　◆機械システム工学科
◆電気電子工学科
◆建築学科／建築専攻（Ⅰ型）　◆建築学科／インテリアデザイン専攻（Ⅰ型）
◆建築学科／土木・環境専攻（Ⅰ型）
◆建築学科／かおりデザイン専攻（Ⅰ型）
◆情報システム学科
◆情報デザイン学科（Ⅰ型）
◆総合情報学科／経営情報コース（Ⅰ型）
◆総合情報学科／スポーツ情報コース（Ⅰ型）
］

［Ⅰ］　次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

図のように，真空中において xy 平面がある。原点Ｏに電気量 $Q\,(Q>0)$ の荷電粒子があり，x 軸上の点Ａに電気量 $4Q$ の荷電粒子がある。どちらの荷電粒子も動かないように固定されている。点Ａの x 座標を $a\,(a>0)$ とする。真空でのクーロンの法則の比例定数を k とする。また，無限遠を電位の基準とする。

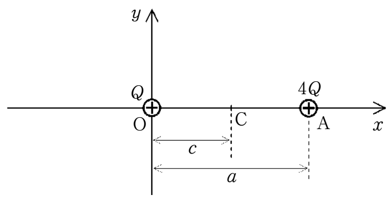
点Ｏの荷電粒子が点Ａに作る電場（電界）の強さは $E_{\mathrm{A}}=\boxed{\text{ア}}$ であり，向きは $\boxed{\text{イ}}$ である。この電場による点Ａの電位は $\phi_{\mathrm{A}}=\boxed{\text{ウ}}$ である。よって，点Ａの荷電粒子が電場から受ける力の大きさは $\boxed{\text{エ}}$ であり，向きは $\boxed{\text{オ}}$ である。また，点Ａの荷電粒子が持つ静電エネルギーは $\boxed{\text{カ}}$ である。

次に，x 軸上の点Ｃを考える。点Ｃの x 座標を c とする（図では $0<c<a$ の場合を示したが，必ずしもそうとは限らない）。点Ｏの荷電粒子が点Ｃに作る電場を $\vec{E}_{\mathrm{CO}}$ とし，点Ａの荷電粒子が点Ｃに作る電場を $\vec{E}_{\mathrm{CA}}$ とする。$\vec{E}_{\mathrm{CO}}$，$\vec{E}_{\mathrm{CA}}$ の大きさは，それぞれ $\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{ク}}$ である。以下では，$\vec{E}_{\mathrm{CO}}$，$\vec{E}_{\mathrm{CA}}$ の大きさが等しいと仮定する。この仮定の下で点Ｃの x 座標 c を求めると，次の２通りが得られる。

（1）$c>0$ の場合，$c=\boxed{\text{ケ}}\times a$ である。このとき，点Ｃでの電場 $\vec{E}_{\mathrm{C}}=\vec{E}_{\mathrm{CO}}+\vec{E}_{\mathrm{CA}}$ の強さは $\boxed{\text{コ}}\times E_{\mathrm{A}}$ となる。また，点Ｃでの電位は $\boxed{\text{サ}}\times\phi_{\mathrm{A}}$ となる。

（2）$c<0$ の場合，$c=-\boxed{\text{シ}}\times a$ である。このとき，点Ｃでの電場 $\vec{E}_{\mathrm{C}}$ の強さは $\boxed{\text{ス}}\times E_{\mathrm{A}}$ となる。また，点Ｃでの電位は $\boxed{\text{セ}}\times\phi_{\mathrm{A}}$ となる。

以下では，(1)の場合について考える。点Ｃに電気量 Q' の荷電粒子を置いて，点Ｏの荷電粒子に働く全ての力の和をゼロにするためには，電気量を $Q'=-\boxed{\text{ソ}}\times Q$ とすればよい。そこで，この荷電粒子を点Ｃに固定せずに静かに置いてから，全ての荷電粒子の固定を静かに外す。この後，点Ａと点Ｃで荷電粒子は，$\boxed{\text{タ}}$。



解答群

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{カ}}$

① $\dfrac{kQ^2}{a^2}$　② $\dfrac{kQ}{a^2}$　③ $\dfrac{4kQ}{a^2}$　④ $\dfrac{4kQ^2}{a^2}$　⑤ $\dfrac{16kQ^2}{a^2}$

⑥ $\dfrac{kQ^2}{a}$　⑦ $\dfrac{kQ}{a}$　⑧ $\dfrac{4kQ}{a}$　⑨ $\dfrac{4kQ^2}{a}$　⓪ $\dfrac{16kQ^2}{a}$

$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{オ}}$

① x 軸の正の向き　② x 軸の負の向き　③ y 軸の正の向き

④ y 軸の負の向き　⑤ 無し

$\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{ク}}$

① $\dfrac{kQ}{|c|}$　② $\dfrac{4kQ}{a}$　③ $\dfrac{4kQ^2}{|c-a|}$　④ $\dfrac{4kQ}{|a-c|}$　⑤ $\dfrac{4kQ}{|a+c|}$

⑥ $\dfrac{kQ}{c^2}$　⑦ $\dfrac{4kQ}{a^2}$　⑧ $\dfrac{4kQ}{(c-a)^2}$　⑨ $\dfrac{4kQ}{(a+c)^2}$　⓪ $\dfrac{4kQ^2}{(a+c)^2}$

$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{シ}}$

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ $\dfrac{1}{2}$

⑥ $\dfrac{1}{3}$　⑦ $\dfrac{1}{4}$　⑧ $\dfrac{3}{2}$　⑨ $\dfrac{2}{3}$　⓪ $\dfrac{3}{4}$

$\boxed{\text{コ}}$，$\boxed{\text{サ}}$，$\boxed{\text{ス}}$，$\boxed{\text{セ}}$

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9　⓪ 0

$\boxed{\text{ソ}}$

① $\dfrac{1}{3}$　② $\dfrac{2}{3}$　③ $\dfrac{3}{2}$　④ $\dfrac{1}{4}$　⑤ $\dfrac{3}{4}$

⑥ $\dfrac{1}{9}$　⑦ $\dfrac{2}{9}$　⑧ $\dfrac{4}{9}$　⑨ $\dfrac{9}{2}$　⓪ $\dfrac{9}{4}$

$\boxed{\text{タ}}$

① A，C の両方とも x 軸正の向きに動き出す
② A，C の両方とも x 軸負の向きに動き出す
③ A では x 軸正の向きに，C では x 軸負の向きに動き出す
④ A では x 軸負の向きに，C では x 軸正の向きに動き出す
⑤ A，C の両方とも静止し続ける
⑥ A では x 軸正の向きに動き出し，C では静止し続ける
⑦ A では x 軸負の向きに動き出し，C では静止し続ける
⑧ A では静止し続け，C では x 軸正の向きに動き出す
⑨ A では静止し続け，C では x 軸負の向きに動き出す

［Ⅱ］ 次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選べ。 解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。解答群の答えが数値の場合は，最も近いものを選べ。

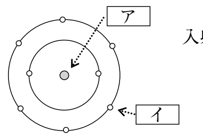


図１ 原子の模型

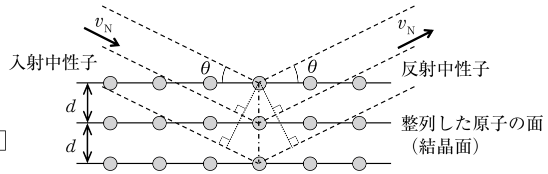


図２

(1) 図１は物質を構成している原子の模型を示している。中心には正の電気を持つ $\boxed{\text{ア}}$ があり，それを負の電気を持つ $\boxed{\text{イ}}$ が取り巻いている。$\boxed{\text{ア}}$ は，正の電気を持つ $\boxed{\text{ウ}}$ と，電気を持たない $\boxed{\text{エ}}$ が結合してできている。

(2) これらの粒子（素粒子）は，粒子の性質と波動（物質波）の性質をあわせ持っていることが知られている。粒子の運動量 p，物質波の波長 λ，プランク定数 $h = 6.6\times10^{-34}$ J･s の間には，$h = \boxed{\text{オ}}$ が成り立つ。h の単位 J･s を SI 基本単位（m，kg，s）で表すと $\boxed{\text{カ}}$ となる。速さ v で運動する質量 m の粒子の運動量は $p = \boxed{\text{キ}}$ と表され，p の単位は $\boxed{\text{ク}}$ だから，$\boxed{\text{オ}}$ の単位はプランク定数の単位と等しい。

ここで，素粒子の一つである中性子に注目する。中性子の質量は $m_N = 1.7\times10^{-27}$ kg である。中性子は核分裂などを利用して物質から取り出すことができる。その波動性を利用すれば，X 線を使った場合と同様に結晶の構造を調べることができる。

(3) 図２のように中性子線を結晶に当てる。すべての入射中性子の速度は同じである。この中性子の速さを v_N とすると，中性子の物質波の波長は $\lambda_N = \boxed{\text{ケ}}$ と表せる。原子が整列した面（結晶面）に対し角度 θ（$0 < \theta < 90°$）をなす向きに中性子線を入射させ，結晶面に対し角度 θ をなす向きに，速さ v_N で反射した中性子線の強度を測定する。隣り合う結晶面の間隔を d とすると，隣り合う２つの結晶面で反射した中性子の物質波の経路差は $\boxed{\text{コ}}$ となる。反射した中性子の物質波が干渉して強め合う条件は，任意の正の整数 n を用いて $\boxed{\text{サ}}$ と表せる。

(4) 条件 $\boxed{\text{サ}}$ を満たす角度を θ_n とするとき，θ_n が２個以上存在するために d と λ_N が満たすべき条件は $\boxed{\text{シ}}$ である。$\boxed{\text{シ}}$ の条件が成り立つためには，入射中性子の速さは $v_N > \boxed{\text{ス}}$ でなければならない。結晶面の間隔が $d = 5.0\times10^{-10}$ m である場合は，$v_N > \boxed{\text{セ}}$ m/s である。

(5) 結晶面の間隔が $d = 5.0\times10^{-10}$ m で，中性子の速さが $v_N = 3.0\times10^{3}$ m/s の場合，反射した中性子の物質波が強め合う角度 θ_n は $\boxed{\text{ソ}}$ 個存在する。

解答群

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{エ}}$

① 核融合 ② 原子核 ③ 原子量 ④ 中性子 ⑤ 質量数
⑥ ミュー粒子 ⑦ 陽子 ⑧ 陰イオン ⑨ 電子 ⓪ 核分裂

$\boxed{\text{オ}}$ ① $p\lambda$ ② $\dfrac{p}{\lambda}$ ③ $\dfrac{\lambda}{p}$ ④ $\dfrac{1}{2}p\lambda^2$ ⑤ $\dfrac{1}{2}\lambda p^2$ ⑥ $p^2\lambda^2$

$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{ク}}$

① kg m s ② kg m/s ③ kg/(m s) ④ kg^2 m/s ⑤ kg m^2/s
⑥ kg m/s^2 ⑦ kg^2 m^2/s ⑧ kg m^2/s^2 ⑨ kg/(m^2 s^2) ⓪ kg^2 m^2/s^2

$\boxed{\text{キ}}$ ① m ② v ③ mv ④ $\dfrac{v}{m}$ ⑤ $\dfrac{m}{v}$ ⑥ $\dfrac{1}{2}mv^2$

$\boxed{\text{ケ}}$ ① hm_Nv_N ② $\dfrac{hm_N}{v_N}$ ③ $\dfrac{m_Nv_N}{h}$ ④ $\dfrac{hv_N}{m_N}$ ⑤ $\dfrac{h}{m_Nv_N}$ ⑥ $\dfrac{m_N}{hv_N}$ ⑦ $\dfrac{v_N}{hm_N}$

$\boxed{\text{コ}}$ ① d ② $2d$ ③ $d\sin\theta$ ④ $2d\sin\theta$
⑤ $\dfrac{\sin\theta}{d}$ ⑥ $\dfrac{\sin\theta}{2d}$ ⑦ $\dfrac{d}{\sin\theta}$ ⑧ $\dfrac{2d}{\sin\theta}$

$\boxed{\text{サ}}$ ① $d = n\lambda_N\sin\theta$ ② $2d = n\lambda_N\sin\theta$ ③ $d\sin\theta = n\lambda_N$ ④ $2d\sin\theta = n\lambda_N$
⑤ $\lambda_N = nd\sin\theta$ ⑥ $\lambda_N\sin\theta = nd$ ⑦ $2\lambda_N\sin\theta = nd$ ⑧ $d\lambda_N = n\sin\theta$

$\boxed{\text{シ}}$　① $\lambda_{\mathrm{N}} d<1$　② $\dfrac{d}{\lambda_{\mathrm{N}}}<1$　③ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{N}}}{d}<1$　④ $\dfrac{d}{2\lambda_{\mathrm{N}}}<1$　⑤ $\dfrac{2\lambda_{\mathrm{N}}}{d}<1$　⑥ $\dfrac{1}{\lambda_{\mathrm{N}} d}<1$

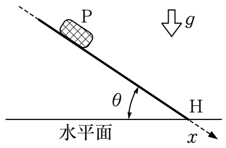
$\boxed{\text{ス}}$　① $hm_{\mathrm{N}}d$　② $\dfrac{hm_{\mathrm{N}}}{d}$　③ $\dfrac{hd}{m_{\mathrm{N}}}$　④ $\dfrac{m_{\mathrm{N}}d}{h}$　⑤ $\dfrac{m_{\mathrm{N}}}{hd}$　⑥ $\dfrac{h}{m_{\mathrm{N}}d}$　⑦ $\dfrac{d}{hm_{\mathrm{N}}}$

$\boxed{\text{セ}}$　① 7.8×10^{-72}　② 3.9×10^{-70}　③ 3.9×10^{-3}　④ 7.8×10^{-2}

⑤ 3.9　⑥ 7.8　⑦ 7.8×10^{2}　⑧ 3.9×10^{3}

$\boxed{\text{ソ}}$　① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9

［Ⅲ］ 次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれの解答群の中から１つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。



図のように，平らな板の上に十分小さな物体Ｐを置いて静止させ，板の傾き角 θ を変えていく。板は端Ｈを中心に傾く。板を水平（$\theta=0$）からゆっくりと角 $\theta=\alpha$ まで傾けていく間，Ｐは板上をすべらず静止し続ける。そして，角 θ が α を超えるとＰは板上をすべり出す。なお，x 軸を板に沿って図のようにとり，Ｐの質量を m，重力加速度の大きさを g，板とＰの間の静止摩擦係数を μ_α とする。

始め，傾き角 $\theta\leqq\alpha$ で，物体Ｐが板上で静止する状態を考える。

(1) 傾き角 θ を α 未満（$\theta<\alpha$）で固定した場合のＰの静止状態では，Ｐに働く重力の大きさ $G_0=\boxed{\text{ア}}\times mg$，垂直抗力の大きさ $N_0=\boxed{\text{イ}}\times mg$，静止摩擦力の大きさ $F_0=\boxed{\text{ウ}}\times mg$ である。

(2) 傾き角 $\theta=\alpha$ で固定した場合のＰの静止状態では，静止摩擦力の大きさ $F_\alpha=\boxed{\text{エ}}\times mg$ となるので，$\mu_\alpha=\boxed{\text{オ}}$ という関係が成り立つことが分かる。

次に，板の傾き角 θ を α より大きな角に固定し，物体Ｐが初速ゼロで板上（x 軸上）をすべり降りていく場合を考える。板とＰの間の動摩擦係数を μ_1（$\mu_1<\mu_\alpha$）とする。また，Ｐには空気の抵抗力 $\overrightarrow{R_1}$ も働き，その大きさ $R_1=cv$ とする。ただし，c は正の定数，v はＰの速度 $\vec{v}$ の大きさである。なお，板は十分長く，以下の問いはＰが板の端Ｈに到達する以前の状況だとする。

(3) この運動の間にＰに働く $\overrightarrow{R_1}$ の向きは $\boxed{\text{カ}}$，重力 $\overrightarrow{G_1}$ の向きは $\boxed{\text{キ}}$，垂直抗力 $\overrightarrow{N_1}$ の向きは $\boxed{\text{ク}}$，動摩擦力 $\overrightarrow{F_1}$ の向きは $\boxed{\text{ケ}}$ である。そして，Ｐに働く全ての力の和 $\overrightarrow{T_1}=\boxed{\text{コ}}$ と与えられ，$\overrightarrow{T_1}$ の向きは $\boxed{\text{サ}}$ で大きさ $T_1=\boxed{\text{シ}}\times mg$ である。

(4) Ｐの加速度 $\overrightarrow{a_1}$ と $\overrightarrow{T_1}$ の間には $\overrightarrow{T_1}=\boxed{\text{ス}}$ の関係が成立する。従って，$\overrightarrow{a_1}$ の向きは $\boxed{\text{セ}}$ で大きさ $a_1=\boxed{\text{ソ}}\times g$ である。

(5) 問(4)よりＰが加速して，速度が大きくなるに従って $\overrightarrow{T_1}$ の向きと大きさは，$\boxed{\text{タ}}$ ことが分かる。そして，しばらくすると等速直線運動になるが，その速度の大きさ $v_2=\boxed{\text{チ}}$ である。

解答群

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{ウ}}$

① 1　② μ_α　③ $\sin\theta$　④ $\mu_\alpha\sin\theta$　⑤ $\cos\theta$

⑥ $\mu_\alpha\cos\theta$　⑦ $\tan\theta$　⑧ $\mu_\alpha\tan\theta$　⑨ $\dfrac{1}{\mu_\alpha}$　⓪ 0

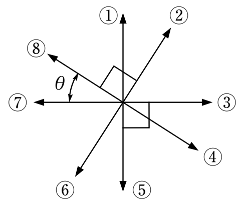
$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{オ}}$

① 1　② $\dfrac{1}{\mu_\alpha}$　③ $\cos\alpha$　④ $\mu_\alpha\cos\alpha$　⑤ $\dfrac{1}{\cos\alpha}$

⑥ $\dfrac{\mu_\alpha}{\cos\alpha}$　⑦ $\tan\alpha$　⑧ $\mu_\alpha\tan\alpha$　⑨ $\dfrac{1}{\tan\alpha}$　⓪ $\dfrac{\mu_\alpha}{\tan\alpha}$

$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{ク}}$，$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{サ}}$，$\boxed{\text{セ}}$

右図の解答群から適切な向きを選べ。
ただし，①は鉛直上向きである。
また，⊙は紙面の裏から表への向き，
⊗は紙面の表から裏への向きである。



⑨ ⊙
⓪ ⊗

$\boxed{\text{コ}}$

① $-c\overrightarrow{R_1}-\mu_1\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}+\overrightarrow{N_1}$　② $c\overrightarrow{R_1}+\mu_1\overrightarrow{F_1}-\overrightarrow{G_1}-\overrightarrow{N_1}$　③ $c\overrightarrow{R_1}+\mu_1\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}+\overrightarrow{N_1}$

④ $c\overrightarrow{R_1}+\mu_1\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}-\overrightarrow{N_1}$　⑤ $\overrightarrow{R_1}+\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}-\overrightarrow{N_1}$　⑥ $\overrightarrow{R_1}+\overrightarrow{F_1}-\overrightarrow{G_1}+\overrightarrow{N_1}$

⑦ $-\overrightarrow{R_1}-\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}+\overrightarrow{N_1}$　⑧ $\overrightarrow{R_1}+\overrightarrow{F_1}-\overrightarrow{G_1}-\overrightarrow{N_1}$　⑨ $\overrightarrow{R_1}+\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{G_1}+\overrightarrow{N_1}$

シ , ソ

① $\sin\theta+\mu_1\cos\theta+\dfrac{cv}{mg}$　② $\cos\theta+\mu_1\sin\theta+\dfrac{cv}{mg}$　③ $\dfrac{\sin\theta}{c\mu_1}+\dfrac{\cos\theta}{c}+\dfrac{v}{\mu_1 mg}$

④ $\sin\theta-\mu_1\cos\theta+\dfrac{cv}{mg}$　⑤ $\cos\theta-\mu_1\sin\theta+\dfrac{cv}{mg}$　⑥ $\dfrac{\sin\theta}{c\mu_1}-\dfrac{\cos\theta}{c}+\dfrac{v}{\mu_1 mg}$

⑦ $\sin\theta-\mu_1\cos\theta-\dfrac{cv}{mg}$　⑧ $\cos\theta-\mu_1\sin\theta-\dfrac{cv}{mg}$　⑨ $\dfrac{\sin\theta}{c\mu_1}-\dfrac{\cos\theta}{c}-\dfrac{v}{\mu_1 mg}$

ス

① $-c\vec{a}_1$　② $c\vec{a}_1$　③ $-\mu_1\vec{a}_1$　④ $\mu_1\vec{a}_1$　⑤ $-m\vec{a}_1$

⑥ $m\vec{a}_1$　⑦ $\mu_1 m\vec{a}_1$　⑧ $cm\vec{a}_1$　⑨ $c\mu_1\vec{a}_1$　⓪ $c\mu_1 m\vec{a}_1$

タ

① 向きは鉛直上方向に傾いていき，大きさは大きくなる
② 向きは鉛直上方向に傾いていき，大きさは変化しない
③ 向きは鉛直上方向に傾いていき，大きさは小さくなる
④ 向きは変わらず，大きさは大きくなる
⑤ 向きは変わらす，大きさも変化しない
⑥ 向きは変わらず，大きさは小さくなる
⑦ 向きは鉛直下方向に傾いていき，大きさは大きくなる
⑧ 向きは鉛直下方向に傾いていき，大きさは変化しない
⑨ 向きは鉛直下方向に傾いていき，大きさは小さくなる

チ

① $(\sin\theta+\mu_1\cos\theta)\dfrac{\mu_1 mg}{c}$　② $(\sin\theta+\mu_1\cos\theta)\dfrac{mg}{c}$　③ $(\sin\theta+\mu_1\cos\theta)mg$

④ $(\sin\theta-\mu_1\cos\theta)\dfrac{\mu_1 mg}{c}$　⑤ $(\sin\theta-\mu_1\cos\theta)\dfrac{mg}{c}$　⑥ $(\sin\theta-\mu_1\cos\theta)mg$

⑦ $(\cos\theta-\mu_1\sin\theta)\dfrac{\mu_1 mg}{c}$　⑧ $(\cos\theta-\mu_1\sin\theta)\dfrac{mg}{c}$　⑨ $(\cos\theta-\mu_1\sin\theta)mg$

⓪ 0