埼玉医科大学

平成25年度一般入学試験問題

後期入学試験

理　　科

注意事項

1. 試験時間は100分である。
2. 物理・化学・生物の3科目のうち，2科目を選択すること。選択しない科目のマークシートは30分後に回収する。
   すべてのマークシートに受験番号，氏名を記入すること。
3. 解答は［　　］に指示された解答番号に従ってマークシートにマークせよ。
4. 下書きや計算は問題用紙の余白を利用すること。
5. すべての配付物は終了時に回収する。
6. 質問がある場合は手を挙げて監督者に知らせること。

マークシート記入要領

例：受験番号が「0123」番の「磯野波江」さんの場合

受験番号				
MC	0	1	2	3
	●	⓪	⓪	⓪
	①	●	①	①
	②	②	●	②
	③	③	③	●
	④	④	④	④
	⑤	⑤	⑤	⑤
	⑥	⑥	⑥	⑥
	⑦	⑦	⑦	⑦
	⑧	⑧	⑧	⑧
	⑨	⑨	⑨	⑨

フリガナ	イソノ　ナミエ
氏名	磯野　波江

注意：マークの良い例と悪い例

良い例	●		
悪い例	⓪	薄い。	マークが悪い場合は，解答欄の該当箇所を採点できない場合がある。
	●	はみ出している。	
	⑥	不完全である。	
	⑨	不完全である。	

1. 受験番号の空欄に受験番号を記入し，受験番号の各桁の数字を下の⓪～⑨から選んでマークする。
   次に，氏名を書き，フリガナをカタカナで記入する。
2. 受験番号欄と解答欄では，⓪と①の位置が異なる。
3. マークはHBの鉛筆を使い，はみ出さないように○の中を●のように完全に塗りつぶす。
   上の「注意：マークの良い例と悪い例」を参照のこと。
4. マークを消す場合は，消しゴムで跡が残らないように完全に消すこと。砂消しゴムは使用しないこと。
5. マークシートは折り曲げたり，汚したりしないように気を付けること。
6. 所定の欄以外には何も記入しないこと。
7. 解答する箇所は
   物理では，解答番号の［1］から［44］までである。
   化学では，解答番号の［1］から［44］までである。
   生物では，解答番号の［1］から［74］までである。

物　　理

1　次の文章読み，下の問い（問１～２）に答えよ。

図１のように水平な板の上に質量 $12m$ の小物体Ａが置いてあり，Ａは重さが無視できる伸びない糸で滑車Ｐを通して滑車Ｑとつながっている。滑車Ｑにはそれぞれ質量 $2m$，$3m$ の小物体Ｂ，Ｃがぶら下がっている。滑車Ｐ，Ｑは滑らかに回り，重さは無視できるとする。また，水平な板と物体Ａの間の静止摩擦係数を μ，重力加速度の大きさを g とする。移動，速度，加速度等については上向きまたは右向きを正の方向とする。

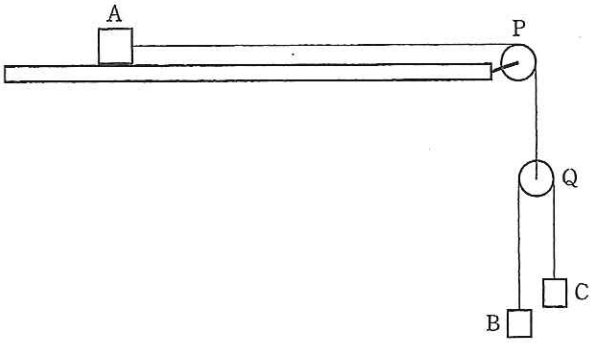

図１

問１　はじめＡ，Ｂ，Ｃを静止させた後，すべてを静かに離したところ，Ａは静止したまま，Ｂ，Ｃが動き始めた。Ｂの加速度を $a\,(a>0)$，ＢとＣをつなぐ糸の張力を K，Ａに働く静止摩擦力を f とすると，物体Ａ，Ｂ，Ｃの運動方程式はそれぞれ，

$0=$ [1]，$2ma=$ [2]，$3ma=$ [3]

となる。これらを解くと，Ｂの加速度は [4]，Ｂ，Ｃをつなぐ糸の張力は [5]，Ａに働く摩擦力は [6] となることが分かる。

(1)　[1]，[2]，[3] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちからそれぞれ１つずつ選べ。

① $K-2mg$　② $2mg-K$　③ $K-3mg$　④ $3mg-K$　⑤ $K-12mg$
⑥ $K-12\mu mg$　⑦ $2K-12mg$　⑧ $2K-12\mu mg$　⑨ $2K-f$

(2)　[4] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから１つ選べ。

① $\frac{1}{5}g$　② $\frac{2}{5}g$　③ $\frac{3}{5}g$　④ $\frac{4}{5}g$　⑤ g
⑥ $\frac{6}{5}g$　⑦ $\frac{7}{5}g$　⑧ $\frac{8}{5}mg$　⑨ $\frac{12}{5}mg$

(3)　[5] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから１つ選べ。

① $\frac{2}{5}mg$　② $\frac{4}{5}mg$　③ $\frac{6}{5}mg$　④ $\frac{8}{5}mg$　⑤ $2mg$
⑥ $\frac{12}{5}mg$　⑦ $\frac{16}{5}mg$　⑧ $4mg$　⑨ $\frac{24}{5}mg$

(4)　[6] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから１つ選べ。

① $\frac{6}{5}mg$　② $\frac{12}{5}mg$　③ $\frac{16}{5}mg$　④ $\frac{24}{5}mg$　⑤ $6\mu mg$
⑥ $12\mu mg$　⑦ $16\mu mg$　⑧ $20\mu mg$　⑨ $24\mu mg$

(5)　静止摩擦係数 μ に成り立つ関係式で最も適切なものを次の①～⑦のうちから１つ選べ。[7]

① $\mu<\frac{1}{5}$　② $\mu<\frac{2}{5}$　③ $\mu<\frac{3}{5}$　④ $\mu<\frac{4}{5}$
⑤ $\mu>\frac{1}{5}$　⑥ $\mu>\frac{2}{5}$　⑦ $\mu>\frac{3}{5}$

問 2　次に板の上に油を一様に塗り，問1と同じようにA，B，Cを静止させた後，すべてを静かに離したところ，A，B，C全てが動き始めた。板とAとの動摩擦係数を μ' とする。A，B，Cの加速度(上向きまたは右向きを正の方向とする)をそれぞれ a_A，a_B，a_C，BとCをつなぐ糸の張力を K' とすると，物体A，B，Cの運動方程式はそれぞれ，

$12\,ma_A =$ [8]，$2\,ma_B =$ [9]，$3\,ma_C =$ [10]

となる。ただし，加速度の間には [11] の関係式が成り立つ。これらを解くと，Aの加速度は [12] $\times g$，Bの加速度は [13] $\times g$，B，C間の糸の張力は [14] $\times mg$，Aが動き始めてから時間 t の間に移動する距離は [15] $\times gt^2$ となることが分かる。ただし，2本の糸は十分な長さがあり，運動中物体が滑車に衝突することはないものとする。

(1) [8]，[9]，[10] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① $K' - 2mg$　② $2mg - K'$　③ $K' - 3mg$　④ $3mg - K'$　⑤ $K' - 12mg$
⑥ $K' - 12\mu' mg$　⑦ $2K' - 12mg$　⑧ $2K' - 12\mu' mg$　⑨ $2K' - f$

(2) [11] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑧のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① $a_A = a_B + a_C$　② $a_A = a_B - a_C$　③ $a_A = a_C - a_B$　④ $a_A + a_B + a_C = 0$
⑤ $2a_A = a_B + a_C$　⑥ $2a_A = a_B - a_C$　⑦ $2a_A = a_C - a_B$　⑧ $2a_A + a_B + a_C = 0$

(3) [12] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑦のうちから1つ選べ。

① $\frac{1}{7}(1+\mu')$　② $\frac{2}{7}(1+\mu')$　③ $\frac{1}{14}(1-5\mu')$　④ $\frac{1}{7}(1-5\mu')$
⑤ $\frac{1}{14}(2-5\mu')$　⑥ $\frac{1}{7}(2-5\mu')$　⑦ $\frac{1}{7}(2+5\mu')$

(4) [13] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑦のうちから1つ選べ。

① $\frac{1}{7}(1+\mu')$　② $\frac{2}{7}(1+\mu')$　③ $\frac{1}{7}(1-\mu')$　④ $\frac{2}{7}(1-\mu')$
⑤ $\frac{1}{7}(6\mu'-1)$　⑥ $\frac{2}{7}(6\mu'-1)$　⑦ $\frac{1}{7}(6\mu'+1)$

(5) [14] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑦のうちから1つ選べ。

① $\frac{1}{7}(1+\mu')$　② $\frac{2}{7}(1+\mu')$　③ $\frac{6}{7}(1+\mu')$　④ $\frac{12}{7}(1+\mu')$
⑤ $\frac{1}{7}(1-\mu')$　⑥ $\frac{2}{7}(1-\mu')$　⑦ $\frac{6}{7}(1-\mu')$

(6) [15] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑦のうちから1つ選べ。

① $\frac{1}{7}(1+\mu')$　② $\frac{2}{7}(1+\mu')$　③ $\frac{1}{14}(1-5\mu')$　④ $\frac{1}{7}(1-5\mu')$
⑤ $\frac{1}{14}(2-5\mu')$　⑥ $\frac{1}{7}(2-5\mu')$　⑦ $\frac{1}{7}(2+5\mu')$

2 次の文章を読み，下の問い(問1～5)に答えよ。

真空中の一様な円筒コイルの内部に，正負2枚の極板からなる平行板コンデンサーが，円筒軸に平行に設置され，電池に接続できるようになっている。図2はその断面図である。正極板は図中の上下に可動である。負極板上に電子発生源が設置され，正極板には小さな穴が開いていて，電子が通過できるようになっている。極板の面積は十分広く，極板間の距離は十分小さく，穴も十分小さく，極板間の電場は一様とみなせるものとする。円筒コイルには電流が流れており，内部の領域に一様な磁場があるとする。

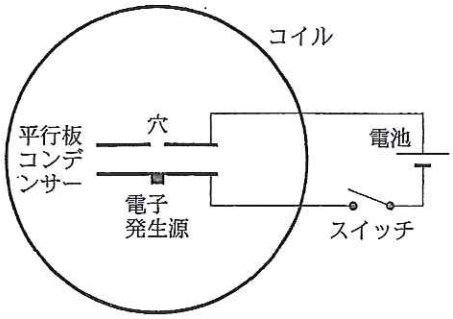

図2

問1　電池の電圧を V，極板間距離を d とすると電場の強さは $E=$ [16] と表される。真空中で距離 r だけ離れた2つの電荷 q，q' の間に働く電気力は $F=k_0qq'/r^2$ で与えられる。ここで，k_0 は比例定数である。電気力線は，その数 n の密度(=〔電気力線の数 n〕/〔電気力線に垂直な面の面積〕)が電場の強さに等しくなるように描くものとする。これを点電荷 q から距離 r の位置にある電場 E にあてはめると，電気力線の数はその端点にある電気量 q を使って $n=$ [17] と書け，r によらないことがわかる。この関係はコンデンサーなど一般の電場の場合でも成り立つものと考える。すると，電気量 Q，面積 S の平行板コンデンサーの極板間の電場の強さは $E=$ [18] と表されることになる。$E=$ [16] $=$ [18] の関係から電気量は $Q=$ [19] と表され，この平行板コンデンサーの電気容量は [20] と表されることが分かる。

(1) [16] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑧のうちから1つ選べ。

① Vd　② Vd^2　③ V/d　④ V/d^2
⑤ $Vd/2$　⑥ $Vd^2/2$　⑦ $V/(2d)$　⑧ $V/(2d^2)$

(2) [17] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから1つ選べ。

① k_0q　② $2\pi k_0q$　③ $4\pi k_0q$　④ q/k_0　⑤ $q/(2\pi k_0)$　⑥ $q/(4\pi k_0)$

(3) [18] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから1つ選べ。

① k_0QS　② $2\pi k_0QS$　③ $4\pi k_0QS$　④ k_0Q/S　⑤ $2\pi k_0Q/S$　⑥ $4\pi k_0Q/S$

(4) [19]，[20] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① k_0Sd　② $2\pi k_0SVd$　③ $4\pi k_0SVd$　④ $S/(k_0d)$　⑤ $S/(4\pi k_0d)$　⑥ $SV/(4\pi k_0d)$

問2　スイッチを閉じたまま極板間の距離を $2d$ にして十分時間がたつと，極板間の電位差は [21] に，電場の強さは [22] に，蓄えられる電気量は [23] になる。極板間の距離を d に戻してスイッチを開いた後，極板間の距離を $2d$ にして十分時間がたつと，極板間の電位差は [24] に，電場の強さは [25] に，蓄えられる電気量は [26] になる。[21] ～ [26] に入る言葉として最も適切なものを，次の①～⑥のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① そのまま　② 2倍　③ 半分　④ 4倍　⑤ 4分の1　⑥ 0

問3　極板間の距離を d に戻してスイッチを閉じ，十分時間がたった後，負極板上の電子発生源から電子(質量 m，電荷 $-e$ (e は電気素量))を初速度 v_0 で図中の上方に発射したところ，正極板の穴を通過するとき，速さが $v=$ [27] になった。[27] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑧のうちから1つ選べ。ただし，[27] の計算にあたっては，磁場の影響は無視できるものとする。

① $v_0+\dfrac{meV}{2}$　② $v_0+\dfrac{2eV}{m}$　③ $v_0-\dfrac{meV}{2}$　④ $v_0-\dfrac{2eV}{m}$
⑤ $\sqrt{v_0^2+\dfrac{meV}{2}}$　⑥ $\sqrt{v_0^2+\dfrac{2eV}{m}}$　⑦ $\sqrt{v_0^2-\dfrac{meV}{2}}$　⑧ $\sqrt{v_0^2-\dfrac{2eV}{m}}$

問 4　円筒コイルには紙面上，反時計まわりの方向に電流が流れており，内部には磁束密度 B の一様な磁場ができているものとする。磁場の方向は紙面上 [28] である。問 3 で正極板の穴を紙面上，上方に速さ v で通過した電子は磁場から力を受ける。その力の大きさは [29] で，方向は紙面上 [30] である。この力は常に磁場と速度に垂直なので，電子は等速円運動をすることになる。この円運動の向きは紙面上 [31] である。等速円運動の円の半径を r とすると，遠心力の大きさは [32] となる。[29] と [32] は釣合わなければならないので，円の半径は [33] と表される。円運動の速さは v なので，周期は [34] となる。このように，周期は半径によらず一定であることが分かる。

(1) [28] に入る言葉として最も適切なものを，次の①～⑧のうちから 1 つ選べ。

① 上方向　② 下方向　③ 右方向　④ 左方向
⑤ 奥から手前　⑥ 手前から奥　⑦ 時計まわり　⑧ 反時計まわり

(2) [29] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから 1 つ選べ。

① vB　② eB^2　③ evB　④ $evB/2$　⑤ $2evB$　⑥ $ev^2B/2$

(3) [30]，[31] に入る言葉として最も適切なものを，次の①～⑧のうちからそれぞれ 1 つずつ選べ。

① 上方向　② 下方向　③ 右方向　④ 左方向
⑤ 奥から手前　⑥ 手前から奥　⑦ 時計まわり　⑧ 反時計まわり

(4) [32] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから 1 つ選べ。

① mv^2r　② $\frac{1}{2}mv^2r$　③ mvr^2　④ $\frac{mv^2}{r}$　⑤ $\frac{mv^2}{2r}$　⑥ $\frac{mr^2}{2v}$

(5) [33] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから 1 つ選べ。

① $\frac{mv}{eB}$　② $\frac{ev}{mB}$　③ $\frac{eB}{mv}$　④ $\frac{evB}{2m}$　⑤ $\frac{emv}{2B}$　⑥ $\frac{em}{vB}$

(6) [34] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑥のうちから 1 つ選べ。

① $\frac{2\pi m}{eB}$　② $\frac{\pi ev}{mB}$　③ $\frac{evB}{m\pi}$　④ $\frac{em}{vB}$　⑤ $\frac{2mv}{eB}$　⑥ $\frac{eB}{mv^2}$

問 5　問 4 で磁束密度を $B = 1.0 \times 10^{-4}$ T(テスラ)，速さ $v = 1.0 \times 10^{6}$ m/s とする。電子の質量を $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg，電気素量を $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C として計算すると，円運動の半径は [35]．[36] $\times 10^{-[37]}$ m となる。答えは指数表示とし，[35]，[36]，[37] にそれぞれ一の位，小数第 1 位，指数の数字をマークせよ。ただし，[35] $\neq 0$ とし，数値は枠に合わせて四捨五入せよ。

3 次の文章を読み，下の問い(問1～6)に答えよ。

物質に波長λのX線を当てると，散乱されたX線の中には，波長がλより長いλ'のX線が観測される。この現象をコンプトン効果といい，X線を波動と考えたのでは説明することのできないものであった。アインシュタインは，振動数ν，波長λの電磁波は [38] のエネルギーを持った光子の流れであるとする光量子仮説を発展させ，光子は [39] の運動量を持つとした。これから，コンプトンは物質によるX線の散乱は，光子と電子の弾性衝突であり，光子が電子をはね飛ばすときに，運動量とエネルギーの一部を失うと考えた。

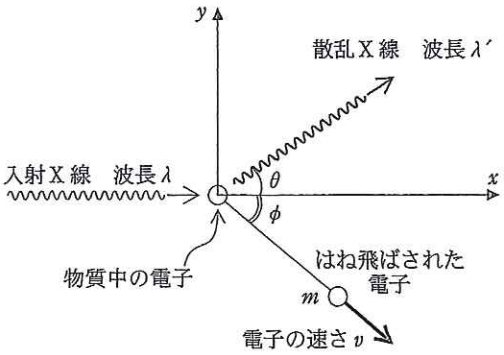

図3

図3のように，波長λのX線が物質中で静止している質量mの電子と衝突し，同一平面上でX線が角度θの方向に散乱され，電子は角度ϕの方向にはね飛ばされたとする。衝突が弾性的であると仮定すると，衝突の前後で両者のエネルギーの和と運動量の和は保存される。衝突後の電子の速さをv，衝突後のX線の波長をλ'，光速度をc，プランク定数をhとする。

問1　上の文中の [38] および [39] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① $c\lambda$　② $h\lambda$　③ hc　④ $\dfrac{\lambda}{c}$　⑤ $\dfrac{c}{\lambda}$

⑥ $\dfrac{h}{\lambda}$　⑦ $h\nu$　⑧ $\dfrac{\nu}{c}$　⑨ $\dfrac{\nu}{hc}$

問2　衝突の前後で，両者のエネルギーの和が保存されるから，[40] の式が成り立つ。
[40] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちからそれぞれ1つずつ選べ。

① $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2$　② $\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{c}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2$　③ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2$

④ $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}\cos\theta+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$　⑤ $\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{c}{\lambda'}\cos\theta+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$　⑥ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}\cos\theta+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$

⑦ $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$　⑧ $\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{c}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$　⑨ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}+\dfrac{1}{2}mv^2\cos\phi$

問3　衝突の前後で，運動量の和が保存されるからx軸方向成分として，[41] の式が成り立つ。
[41] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから1つ選べ。

① $\dfrac{1}{\lambda}=\dfrac{1}{\lambda'}\sin\theta+mv\sin\phi$　② $\dfrac{1}{\lambda}=\dfrac{1}{\lambda'}\cos\theta+mv\sin\phi$　③ $\dfrac{1}{\lambda}=\dfrac{1}{\lambda'}\cos\theta+mv\cos\phi$

④ $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}\sin\theta+mv\sin\phi$　⑤ $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}\cos\theta+mv\sin\phi$　⑥ $\dfrac{h}{\lambda}=\dfrac{h}{\lambda'}\cos\theta+mv\cos\phi$

⑦ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}\sin\theta+mv\sin\phi$　⑧ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}\cos\theta+mv\sin\phi$　⑨ $\dfrac{hc}{\lambda}=\dfrac{hc}{\lambda'}\cos\theta+mv\cos\phi$

問4　衝突の前後で，運動量の和が保存されるからy軸方向成分として，[42] の式が成り立つ。
[42] に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから1つ選べ。

① $0=\dfrac{1}{\lambda'}\sin\theta-mv\sin\phi$　② $0=\dfrac{1}{\lambda'}\cos\theta-mv\sin\phi$　③ $0=\dfrac{1}{\lambda'}\cos\theta-mv\cos\phi$

④ $0=\dfrac{h}{\lambda'}\sin\theta-mv\sin\phi$　⑤ $0=\dfrac{h}{\lambda'}\cos\theta-mv\sin\phi$　⑥ $0=\dfrac{h}{\lambda'}\cos\theta-mv\cos\phi$

⑦ $0=\dfrac{hc}{\lambda'}\sin\theta-mv\sin\phi$　⑧ $0=\dfrac{hc}{\lambda'}\cos\theta-mv\sin\phi$　⑨ $0=\dfrac{hc}{\lambda'}\cos\theta-mv\cos\phi$

問 5 $\boxed{41}$ と $\boxed{42}$ から，$\sin^2\phi + \cos^2\phi = 1$ を用いて ϕ を消去すると衝突後の電子の運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2 = \boxed{43}$ となる。$\boxed{43}$ に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから１つ選べ。

① $\frac{1}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$　② $\frac{1}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\cos\theta\right)$　③ $\frac{1}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} + \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$

④ $\frac{h^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$　⑤ $\frac{h^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\cos\theta\right)$　⑥ $\frac{h^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} + \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$

⑦ $\frac{h^2c^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$　⑧ $\frac{h^2c^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} - \frac{2}{\lambda\lambda'}\cos\theta\right)$　⑨ $\frac{h^2c^2}{2m}\left(\frac{1}{\lambda^2} + \frac{1}{\lambda'^2} + \frac{2}{\lambda\lambda'}\sin\theta\right)$

問 6 λ' は λ に近いとし，$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ は残すが $(\Delta\lambda)^2$ は小さいので無視する近似をする。$\boxed{40}$ と $\frac{1}{2}mv^2 = \boxed{43}$ の式から v を消去して，近似的に $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} = 2$ となることを用いると $\lambda' - \lambda = \boxed{44}$ の式を導くことができる。この式は，散乱角 θ と散乱X線の波長 λ' との関係を示し，測定値とよく一致し，理論の正しさが実証された。

$\boxed{44}$ に入る式として最も適切なものを，次の①～⑨のうちから１つ選べ。

① $\frac{h}{m}(1 - \cos\theta)$　② $\frac{h}{m}(1 + \cos\theta)$　③ $\frac{hc}{m}(1 - \cos\theta)$

④ $\frac{hc}{m}(1 + \cos\theta)$　⑤ $\frac{hc}{m}(1 - \sin\theta)$　⑥ $\frac{hc}{m}(1 + \sin\theta)$

⑦ $\frac{h}{mc^2}(1 + \cos\theta)$　⑧ $\frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$　⑨ $\frac{h}{mc}(1 + \cos\theta)$