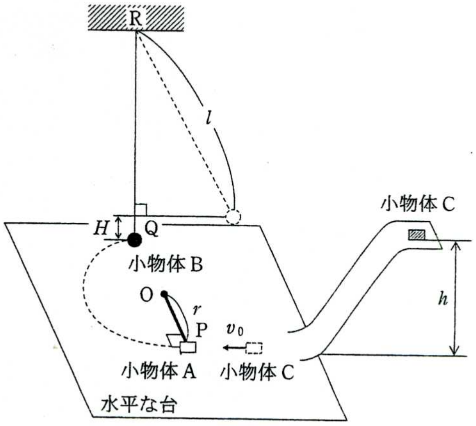
受験番号	第　　　　　　　番

物　理　301　その1

第1問　図のようになめらかで水平な台上の点Oを中心とする半径r〔m〕の円周上の2点P，Qにそれぞれ小物体A(質量$2m$〔kg〕)と小物体B(質量m〔kg〕)が置かれている。Aは長さr〔m〕の軽い糸で点Oにつながれており，Bは点Qの真上で距離l〔m〕だけ離れた点Rから長さl〔m〕の軽い糸でつり下げられている。ただし，いずれの糸も伸び縮みしないとし，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。



〔1〕　小物体C(質量m〔kg〕)は初速0 m/sで台からの高さh〔m〕からなめらかな斜面をすべり落ち，速さv_0〔m/s〕で小物体Aと点Pで半径OPに垂直に衝突した。衝突後，Cは点Pで静止し，Aは速さv_1〔m/s〕で半径rの円周上を等速円運動し始めた。

問1　衝突直前のCの速さv_0を，m，g，hの中で必要なものを用いて表せ。

〔式と計算〕 $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$　　$v_0^2 = 2gh$

答	$\sqrt{2gh}$

問2　衝突後のAの速さv_1を，v_0を用いて表せ。

〔式と計算〕 $mv_0 + 2m\cdot 0 = m\cdot 0 + 2mv_1$　　$v_1 = \frac{1}{2}v_0$

答	$\frac{1}{2}v_0$

〔2〕　その後，小物体Aは速さv_1で小物体Bと円周上の点Qで完全弾性衝突した。衝突後Bは糸がたるむことなく半径OQに垂直な面内を運動した。Bが初めて点Qに戻ってくるまでを考える。

問3　点Qでの衝突直後のAの速さv_2〔m/s〕とBの速さv_3〔m/s〕を，v_1を用いて表せ。

〔式と計算〕
$$\begin{cases} 2m\cdot v_1 + m\cdot 0 = 2m\cdot v_2 + m\cdot v_3 \\ v_2 - v_3 = (-1)(v_1 - 0) \end{cases}$$

答		
	v_2	$\frac{1}{3}v_1$
	v_3	$\frac{4}{3}v_1$

問4　Bが到達する最高点の台からの高さH〔m〕を，v_3，m，g，r，lの中で必要なものを用いて表せ。

〔式と計算〕 $\frac{1}{2}\cancel{m}v_3^2 = \cancel{m}gH$　　$H = \frac{v_3^2}{2g}$

答	$\frac{v_3^2}{2g}$

問5　lに比べてHがじゅうぶん小さいとき，衝突後Bが最高点に達するまでに要する時間は何秒か。v_3，m，g，l，Hの中で必要なものを用いて表せ。

〔式と計算〕 周期は $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ で，$\frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$

答	$\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$

問6　Bが到達する最高点の高さHは，高さhの何倍になるか。

〔式と計算〕 $v_3 = \frac{4}{3}v_1 = \frac{4}{3}\cdot\frac{1}{2}v_0 = \frac{2}{3}v_0 = \frac{2}{3}\sqrt{2gh}$

$\therefore H = \frac{1}{\cancel{2g}}\times\frac{4}{9}\times\cancel{2g}h = \frac{4}{9}h$

答	$\frac{4}{9}$倍

問7　Bが再び点Qに戻ってきた瞬間の糸の張力の大きさを，v_3，m，g，r，lの中で必要なものを用いて表せ。

〔式と計算〕

$m\frac{v_3^2}{l} + mg$

$= m\frac{\frac{4}{3}v_1}{l} + mg$

$\frac{mv_3^2 + mgl}{l}$

$m\left(\frac{v_3^2}{l} + g\right)$

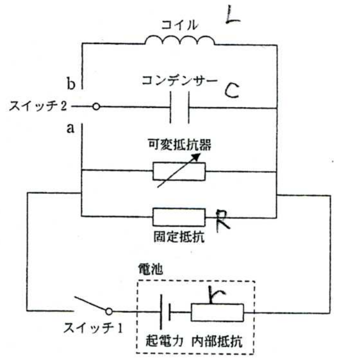
答	$\frac{m(v_3^2 + gl)}{l}$

小　計	点

受験番号	第　　　　　　番

物　理　301　その2

第2問 電池(起電力 E〔V〕, 内部抵抗 r〔Ω〕), 可変抵抗器, 固定抵抗(抵抗値 R〔Ω〕), コンデンサー(電気容量 C〔F〕), コイル(自己インダクタンス L〔H〕)が, 2つのスイッチ1と2で右図のように接続されている。ただし, 初め2つのスイッチは開いており, コンデンサーに電荷は与えられていない。また, $R>r$ であり, 導線とコイルの抵抗は無視できるものとする。



〔1〕 スイッチ1を閉じて可変抵抗器の抵抗値を R〔Ω〕にした。

問 1　スイッチ1を流れる電流を, E, r, R を用いて表せ。

〔式と計算〕 $\frac{1}{R}+\frac{1}{R}=\frac{2}{R}$

抵抗 $\frac{R}{2}+r$　∴ $\frac{E}{\frac{R}{2}+r}$

答	$\frac{E}{\frac{R}{2}+r}$

〔2〕 その後, スイッチ2をa側に閉じ, じゅうぶんに時間が経過した。

問 2　コンデンサーにたくわえられた電荷 Q_0〔C〕と静電エネルギー U_0〔J〕を, E, r, R, C を用いて表せ。

〔式と計算〕 固定抵抗にかかる電位は $V=IR=\frac{RE}{\frac{R}{2}+r}$

$Q_0 = CV = \frac{CRE}{\frac{R}{2}+r}$

$U_0 = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{C}{2}\left(\frac{RE}{\frac{R}{2}+r}\right)^2$

答		
	Q_0	$\frac{CRE}{\frac{R}{2}+r}$
	U_0	$\frac{C}{2}\left(\frac{RE}{\frac{R}{2}+r}\right)^2$

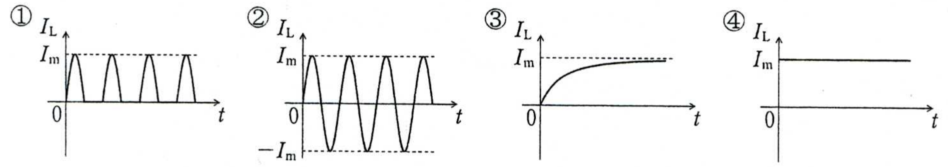
〔3〕 次に, スイッチ2を開けたのちスイッチ1を開けた。その後スイッチ2をb側に閉じた。

問 3　コイルに流れる電流の最大値 I_m〔A〕を L と問2の U_0 を用いて表せ。

〔式と計算〕 $U_0 = \frac{1}{2}LI_m^2$

答	$I_m = \sqrt{\frac{2U_0}{L}}$

問 4　コイルに流れる電流 I_L〔A〕の時間変化の様子について, 次の①から④のグラフの中から最も適当なものを1つ選び番号で答えよ。ただし, グラフの横軸は時間 t〔s〕であり, スイッチ2をb側に閉じたときを0とする。



答	②

〔4〕 スイッチ2を開けスイッチ1を閉じ, 可変抵抗器と固定抵抗の合成された抵抗での消費電力が最大になるように可変抵抗器の抵抗値を調整した。

問 5　スイッチ1を流れる電流 I〔A〕, 可変抵抗器の抵抗値 R_v〔Ω〕, および合成された抵抗での消費電力の最大値 P_m〔W〕を, E, r, R の中で必要なものを用いて表せ。

〔式と計算〕

可変抵抗器と固定抵抗の合成抵抗を R' とすると, 消費電力 P は以下のようになる

$P = I^2R' = \frac{E^2}{(R'+r)^2}R'$

よって $P = \frac{E^2}{R'+\frac{r^2}{R'}+2r}$

ここで $R'+\frac{r^2}{R'} \geqq 2\sqrt{R'\frac{r^2}{R'}}$

$= 2\sqrt{r^2}$

$= 2r$

であるので

$P_m = \frac{E^2}{2r+2r} = \frac{E^2}{4r}$

上記の結果より I, R_v も求められる

答		
	I	$\frac{E}{2r}$
	R_v	$\frac{Rr}{R-r}$
	P_m	$\frac{E^2}{4r}$

小　計	点

受験番号	第　　　　　番

物　理　301　その3

第3問 光と電子に関する下の問い(問1～5)に答えよ。

〔1〕 X線(エックス線)のような波長λ〔m〕が極めて短い光を用いて物質の構造を調べることができる。図1のようにX線を結晶にあてると入射角度θがある条件を満たすときに強く反射する。この性質を利用して結晶の原子面間隔d〔m〕を求めることができる。

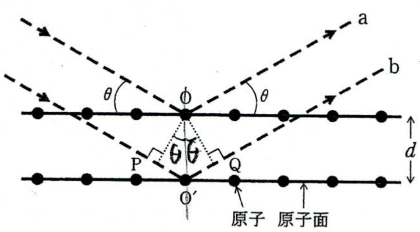


図1

問1 結晶の原子面間隔がdであるとき，図1のX線aとbの経路差$\Delta x = \mathrm{PO'} + \mathrm{O'Q}$を$\lambda$，$d$，$\theta$の中で必要なものを用いて表せ。ただし，点Oからbの経路におろした垂線とbの経路との交点をP，Qとする。

〔式と計算〕 $OO' = d$，$\angle POO' = \angle QOO' = \theta$ だから

$PO' + O'Q = d\sin\theta + d\sin\theta = 2d\sin\theta$

答	$2d\sin\theta$

問2 nを任意の自然数として，反射したX線が強めあう条件式をΔx，λ，nを用いて表せ。

〔式と計算〕

経路差ΔxがX線の波長λの整数倍

(半波長の偶数倍)のとき強めあう

答	$\Delta x = n\lambda$

問3 波長7.1×10^{-11} mのX線を入射させると$n = 2$，$\theta = 30°$のときに強く反射した。原子面間隔d〔m〕を求めよ。

〔式と計算〕 上の結果より

$\Delta x = 2d\sin\theta = n\lambda$

$d = \dfrac{n\lambda}{2\sin\theta} = \dfrac{2 \times 7.1 \times 10^{-11}}{2 \times \frac{1}{2}}$

$= 14.2 \times 10^{-11}$

答	1.4×10^{-10} [m]

〔2〕 図2のように真空中の金属にいろいろな振動数f〔Hz〕の光をあてると電子(光電子)が飛び出す。光の振動数fと電極で集められた光電子の最大運動エネルギーE〔J〕の関係は表のようになった。

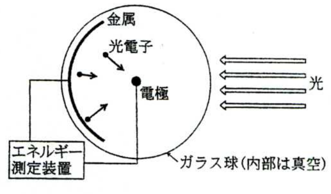


図2

f〔Hz〕	4.50×10^{14}	5.00×10^{14}	5.50×10^{14}	6.00×10^{14}	6.50×10^{14}
E〔J〕	1.60×10^{-20}	4.80×10^{-20}	8.00×10^{-20}	11.2×10^{-20}	14.4×10^{-20}

問4 表の数値を図3のグラフに描き，光をあてても電子が飛び出さない光の振動数の最大値f_0〔Hz〕を求めよ。

〔式と計算〕

図3のグラフで，E = 0 となる

振動数であるので

$f_0 \fallingdotseq 4.2 \times 10^{14}$ [Hz]

答	4.2×10^{14} [Hz]

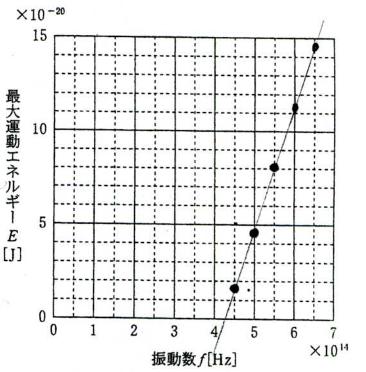


図3

問5 f〔Hz〕とE〔J〕の関係はh，E_0を定数として$E = hf + E_0$で表されることがわかっている。この実験から得られる傾きの値hはいくらか。hは光のエネルギーを記述するのに用いられる重要な定数である。

〔式と計算〕

図3のグラフの傾きがhになるので

$h = \dfrac{(14.4 - 1.60) \times 10^{-20}}{(6.50 - 4.50) \times 10^{14}}$

$= \dfrac{12.8}{2} \times 10^{-34} = 6.4 \times 10^{-34}$

答	6.4×10^{-34} [J・S]

小　計	
合　計	