物　理

問　題	選　択　方　法
第1問	必　　答
第2問	必　　答
第3問	必　　答
第4問	必　　答
第5問	いずれか1問を選択し，解答しなさい。
第6問	

物　理　（注）この科目には，選択問題があります。（3ページ参照。）

第1問　（必答問題）

次の問い（**問1～5**）に答えよ。

〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ 〕（配点　20）

問1　波の回折による現象を記述している文はどれか。最も適当なものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

① 入浴中，水面に静かに波を起こすと，風呂の底が揺らいで見える。

② 笛を吹くと特定の振動数の音が出る。

③ 夜になり，地表付近の気温が上空よりも下がると，遠くの音が聞こえやすくなる。

④ 波は岸壁に当たるときに高く跳ね上がる。

⑤ コンクリートの塀の向こう側の見えない場所で発生した音でも，塀を越えて聞こえてくる。

⑥ よく晴れているとき，昼間の空は青く，夕日は赤い。

⑦ 救急車がサイレンを鳴らしながら通り過ぎるとき，その音の高さが変化するように聞こえる。

問 2　図1のように，正方形の各頂点に四つの点電荷を固定した。それぞれの電気量はq，Q，Q'，Qである。ただし，$Q > 0$，$q > 0$である。電気量qの点電荷にはたらく静電気力がつり合うとき，Q'を表す式として正しいものを，下の①〜⑧のうちから一つ選べ。$Q' = \boxed{\ 2\ }$

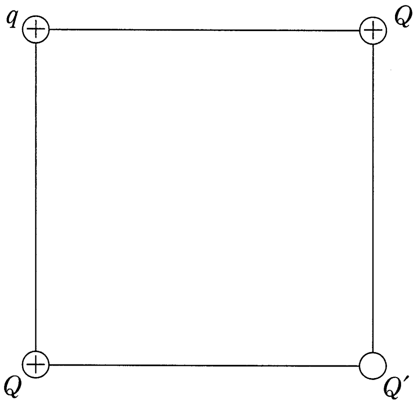


図　1

① Q　　② $\sqrt{2}\,Q$　　③ $2Q$　　④ $2\sqrt{2}\,Q$

⑤ $-Q$　　⑥ $-\sqrt{2}\,Q$　　⑦ $-2Q$　　⑧ $-2\sqrt{2}\,Q$

物　理

問 3　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ・ $\boxed{\text{イ}}$ に入れる式の組合せとして正しいものを，下の①〜⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{3}$

図 2 のように，質量 m の物体があらい水平な台の上に置かれている。台を水平方向に振幅 A，角振動数 ω で単振動させるとき，台に乗った観測者からみて，物体にはたらく慣性力の大きさの最大値 F_1 は $\boxed{\text{ア}}$ である。角振動数 ω を 0 からゆっくり増大させると，F_1 の値が $\boxed{\text{イ}}$ を超えたときに，物体は滑り始める。ただし，物体と台の間の静止摩擦係数を μ，動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g とし，物体の底面は常に台に接しているものとする。

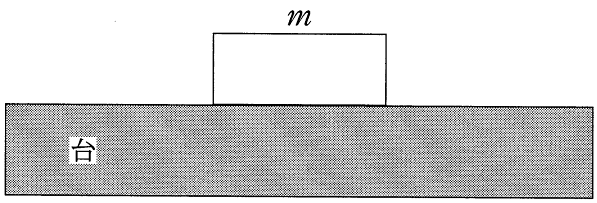


図　2

	ア	イ
①	$A\omega$	μmg
②	$A\omega$	$\mu' mg$
③	$A\omega^2$	μmg
④	$A\omega^2$	$\mu' mg$
⑤	$mA\omega$	μmg
⑥	$mA\omega$	$\mu' mg$
⑦	$mA\omega^2$	μmg
⑧	$mA\omega^2$	$\mu' mg$

問 4　体積 $2.5 \times 10^{-2}\,\mathrm{m}^3$，温度 27 ℃ の理想気体 2.0 mol の圧力の値として最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，気体定数を 8.3 J/(mol・K) とする。 $\boxed{\ 4\ }$ Pa

① 5.0×10^{-6}　② 2.0×10^{-5}　③ 1.4×10^{2}　④ 5.6×10^{2}

⑤ 1.8×10^{4}　⑥ 5.6×10^{4}　⑦ 1.4×10^{5}　⑧ 2.0×10^{5}

物　理

問 5　図3のように，質量 m の一様な細い棒の一端を鉛直な壁にちょうつがいでとめ，他端と壁の一点を軽い糸で結んだ。糸と棒は壁に垂直な鉛直面内にあり，壁と糸，棒と糸のなす角度は，それぞれ 30°，90° であった。糸の張力の大きさ T を表す式として正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，ちょうつがいはなめらかに回転し，その大きさと質量は無視できるものとする。また，重力加速度の大きさを g とする。$T = \boxed{\ 5\ }$

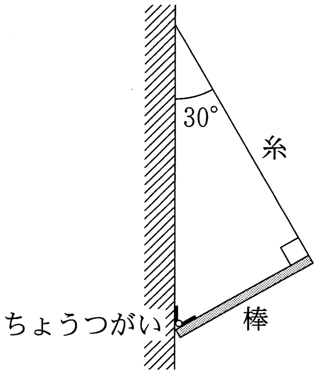


図　3

① $\dfrac{1}{4}mg$　　② $\dfrac{\sqrt{3}}{4}mg$　　③ $\dfrac{1}{2}mg$

④ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}mg$　　⑤ $\dfrac{3}{4}mg$　　⑥ mg

物　理

第２問　（必答問題）

次の文章（**A**・**B**）を読み，下の問い（**問１～４**）に答えよ。
〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$ 〕（配点　20）

A　図１のように，電圧の最大値が V_0，周期が T の交流電源にダイオードと抵抗を接続した回路を作った。図２は点Ｂを基準としたときの点Ａの電位の時間変化である。ただし，ダイオードは整流作用のみをもつ理想化した素子として考える。

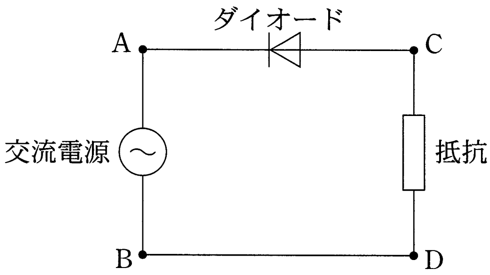


図　１

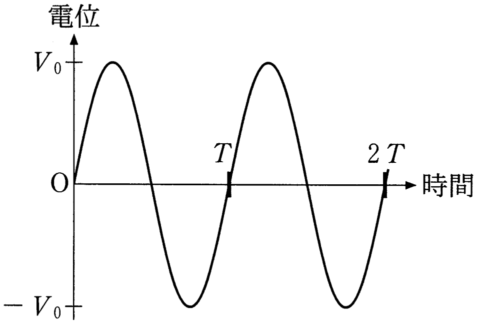
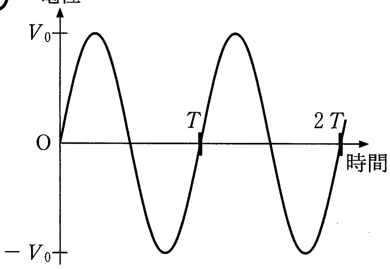
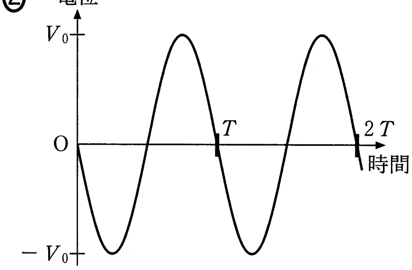
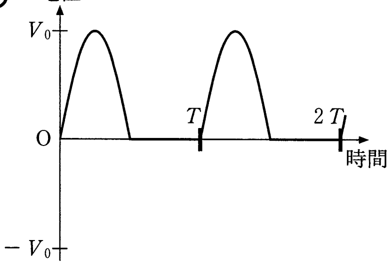


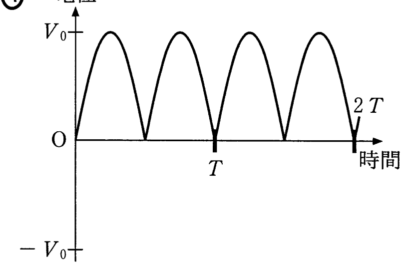
図　２

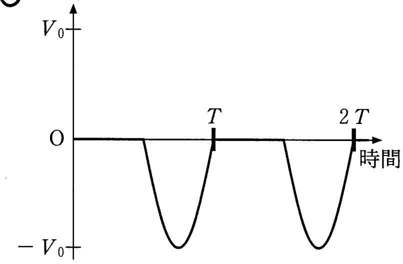
問 1　点Ｄを基準としたときの点Ｃの電位の時間変化を表す図として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 1\ }$

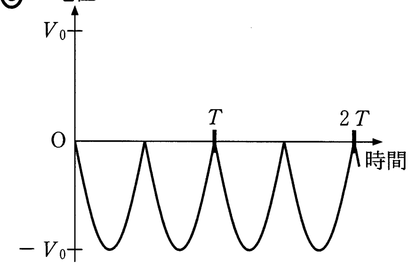
①


②


③


④


⑤


⑥


問 2　抵抗での消費電力の時間平均として正しいものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，抵抗の抵抗値を R とする。 $\boxed{\ 2\ }$

①　$\dfrac{1}{16}\dfrac{{V_0}^2}{R}$　　②　$\dfrac{1}{8}\dfrac{{V_0}^2}{R}$　　③　$\dfrac{1}{4}\dfrac{{V_0}^2}{R}$　　④　$\dfrac{1}{2}\dfrac{{V_0}^2}{R}$　　⑤　$\dfrac{{V_0}^2}{R}$

B　図3のように，真空中で荷電粒子(イオン)を加速する円型の装置を考える。この装置には，内部が中空で半円型の二つの電極が水平に向かい合わせて設置され，それらの間に電圧をかけることができる。全体に一様で一定な磁束密度 B の磁場が鉛直下向きにかかっている。

質量 m，正電荷 q をもつ粒子が，点Pから入射され，中空電極内では磁場による力のみを受けて円運動を行い，半周ごとに電極間を通過する。電極間の電場の向きは粒子が半周するたびに反転して，電極間を通過する粒子は，大きさ V の電圧で常に加速されるものとする。

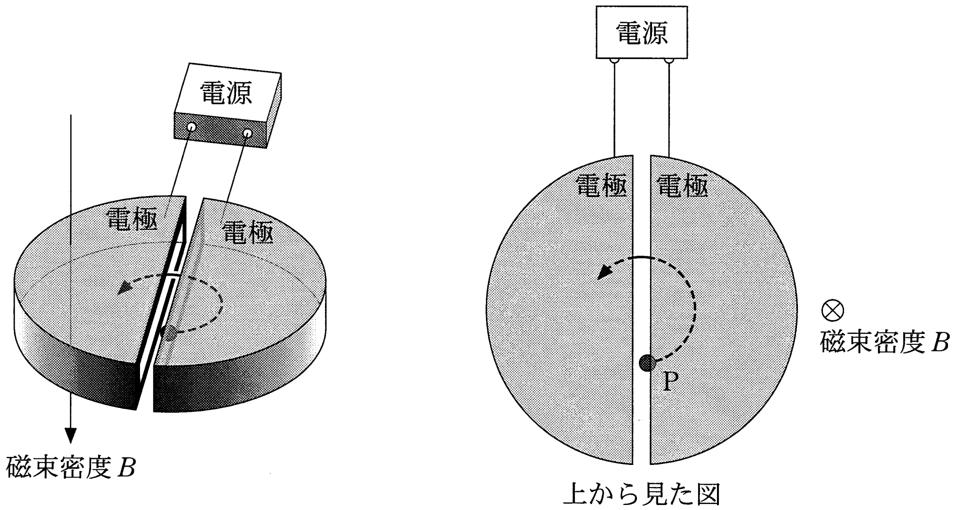


図　3

問 3 運動エネルギー E_0 をもつ粒子が電極内に入射し，電極間を n 回通過した。粒子のもつ運動エネルギーを表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{3}$

① $nqV + E_0$　　② $\dfrac{nV}{q} + E_0$　　③ $nqV^2 + E_0$

④ $\dfrac{nV^2}{q} + E_0$　　⑤ $\dfrac{1}{2}nqV^2 + E_0$　　⑥ $\dfrac{1}{2}\dfrac{nV^2}{q} + E_0$

問 4 粒子が電極間を n 回通過した後の運動エネルギーを E_n とする。そのときの速さ v と円運動の半径 r を表す式の組合せとして正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{4}$

	速さ v	円運動の半径 r
①	$\sqrt{\dfrac{2E_n}{m}}$	$\dfrac{mv}{qB}$
②	$\sqrt{\dfrac{2E_n}{m}}$	$\dfrac{mB}{qv}$
③	$\sqrt{\dfrac{2E_n}{m}}$	$\dfrac{qvB}{m}$
④	$\dfrac{E_n}{m}$	$\dfrac{mv}{qB}$
⑤	$\dfrac{E_n}{m}$	$\dfrac{mB}{qv}$
⑥	$\dfrac{E_n}{m}$	$\dfrac{qvB}{m}$

物　理

第3問 （必答問題）

次の文章（**A**・**B**）を読み，下の問い（**問1～4**）に答えよ。

〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$ 〕（配点　20）

A　媒質1から入射した平面波が境界面で屈折し，媒質2を伝播（でんぱ）している。ある時刻における波の様子を図1に示す。図中の破線は平面波の山の位置を表しており，媒質1，2において破線が境界面となす角度をそれぞれθ_1，θ_2，境界面上での山の間隔をdとする。また，媒質1，2での波の速さをそれぞれv_1，v_2，波長をそれぞれλ_1，λ_2とする。

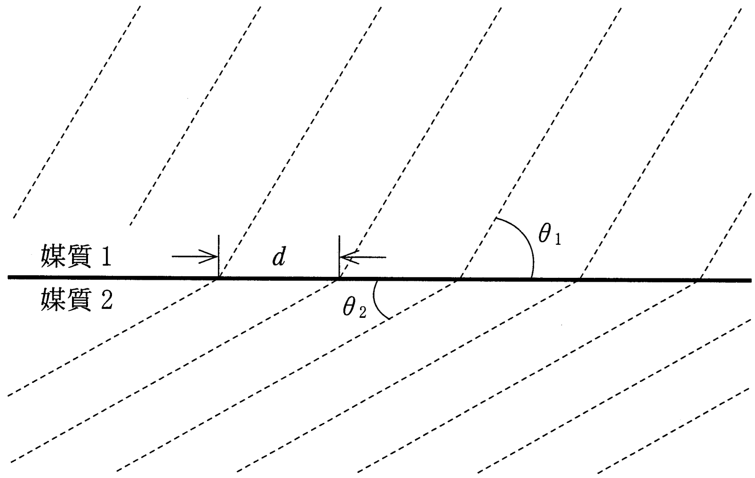


図　1

問 1　境界面上の一点において，単位時間あたりに，媒質 1 から到達する波の山の数と媒質 2 へと出ていく波の山の数とは等しい。このことから成立する関係として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 1\ }$

① $v_1\lambda_1 \sin\theta_1 = v_2\lambda_2 \sin\theta_2$

② $v_1\lambda_1 \cos\theta_1 = v_2\lambda_2 \cos\theta_2$

③ $\dfrac{v_1 \sin\theta_1}{\lambda_1} = \dfrac{v_2 \sin\theta_2}{\lambda_2}$

④ $\dfrac{v_1 \cos\theta_1}{\lambda_1} = \dfrac{v_2 \cos\theta_2}{\lambda_2}$

⑤ $v_1\lambda_1 = v_2\lambda_2$

⑥ $\dfrac{v_1}{\lambda_1} = \dfrac{v_2}{\lambda_2}$

問 2　境界面上での山の間隔 d が媒質 1 と 2 において共通であることから成立する関係として正しいものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 2\ }$

① $\lambda_1 \sin\theta_1 = \lambda_2 \sin\theta_2$

② $\dfrac{\lambda_1}{\sin\theta_1} = \dfrac{\lambda_2}{\sin\theta_2}$

③ $\lambda_1 \cos\theta_1 = \lambda_2 \cos\theta_2$

④ $\dfrac{\lambda_1}{\cos\theta_1} = \dfrac{\lambda_2}{\cos\theta_2}$

⑤ $\lambda_1 \tan\theta_1 = \lambda_2 \tan\theta_2$

⑥ $\dfrac{\lambda_1}{\tan\theta_1} = \dfrac{\lambda_2}{\tan\theta_2}$

⑦ $\lambda_1 = \lambda_2$

B　水面波の干渉について考える。図２のように，水路に仕切り板をおき，水路に沿った方向に小さく振動させたところ，仕切り板の両側において周期 T で互いに逆位相の水面波が発生した。二つの水面波は，水路を伝わった後，出口Ａと出口Ｂから広がって水路の外で干渉した。水面波の速さは，水路の中と外で等しく，v であるとする。また，水路の幅の影響は無視してよい。

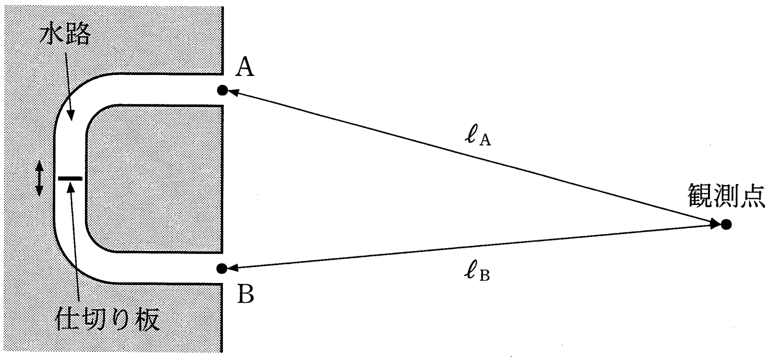


図　2

問 3　はじめ，仕切り板の振動の中心は，出口Ａまでの経路の長さと出口Ｂまでの経路の長さが等しくなる位置にあった。出口Ａおよび出口Ｂから観測点までの距離をそれぞれ ℓ_A，ℓ_B とするとき，干渉によって水面波が強めあう条件を表す式として正しいものを，次の①〜⑧のうちから一つ選べ。ただし，$m = 0$，1，2，…である。 $\boxed{3}$

① $\ell_A + \ell_B = mvT$

② $\ell_A + \ell_B = \left(m + \dfrac{1}{2}\right)vT$

③ $\ell_A + \ell_B = \dfrac{mvT}{2}$

④ $\ell_A + \ell_B = \left(\dfrac{m}{2} + \dfrac{1}{4}\right)vT$

⑤ $|\ell_A - \ell_B| = mvT$

⑥ $|\ell_A - \ell_B| = \left(m + \dfrac{1}{2}\right)vT$

⑦ $|\ell_A - \ell_B| = \dfrac{mvT}{2}$

⑧ $|\ell_A - \ell_B| = \left(\dfrac{m}{2} + \dfrac{1}{4}\right)vT$

問 4　次に，仕切り板の振動の中心位置を水路に沿ってdだけずらしたところ，**問 3** の状況において二つの水面波が強めあっていた場所が，弱めあう場所となった。dの最小値として正しいものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。 $\boxed{4}$

① $\dfrac{vT}{8}$　② $\dfrac{vT}{4}$　③ $\dfrac{vT}{2}$　④ vT　⑤ $2\,vT$

物　理

第4問 （必答問題）

次の文章（**A**・**B**）を読み，下の問い（**問1～5**）に答えよ。
〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ 〕（配点　25）

A　図1のように，質量 m の小球を点Oから水平に速さ v_0 で投げたところ，小球は鉛直な壁面上の点Pではね返って，水平な床の上の点Qに落ちた。点Oの床からの高さを h，壁からの距離を L，小球と壁の間の反発係数（はねかえり係数）を e（$0 < e < 1$），重力加速度の大きさを g とする。ただし，小球は壁に垂直な鉛直面内で運動するものとする。また，壁はなめらかであるものとする。

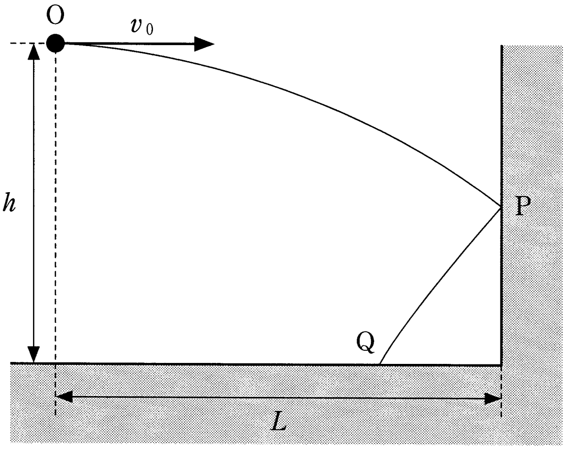


図　1

問1　小球を投げてから点Pに当たるまでの時間 t_1 を表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$t_1 = \boxed{1}$

① $\dfrac{L}{2v_0}$　　② $\dfrac{L}{v_0}$　　③ $\dfrac{2L}{v_0}$

④ $\sqrt{\dfrac{L}{2v_0}}$　　⑤ $\sqrt{\dfrac{L}{v_0}}$　　⑥ $\sqrt{\dfrac{2L}{v_0}}$

問 2　小球を投げてから点Qに落ちるまでの時間 t_2 を表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$t_2 = \boxed{\;2\;}$

①　$\dfrac{L}{v_0}$　　②　$\dfrac{2L}{v_0}$　　③　$\dfrac{(1+e)L}{v_0}$

④　$\sqrt{\dfrac{h}{g}}$　　⑤　$\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$　　⑥　$\sqrt{\dfrac{(1+e)h}{g}}$

問 3　点Oから投げた直後の小球の力学的エネルギー E_0 と，点Qに落ちる直前の力学的エネルギー E_1 の差 $E_0 - E_1$ を表す式として正しいものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。$E_0 - E_1 = \boxed{\;3\;}$

①　mgh　　②　$(1-e^2)mgh$　　③　$(1-e)^2 mgh$

④　$\dfrac{1}{2}mv_0{}^2$　　⑤　$\dfrac{1}{2}(1-e^2)mv_0{}^2$　　⑥　$\dfrac{1}{2}(1-e)^2 mv_0{}^2$

⑦　0

B　自然の長さ ℓ，ばね定数 k の二つの軽いばねを，質量 m の小球の上下に取り付けた。下側のばねの端を床に取り付け，上側のばねの端を手で引き上げた。重力加速度の大きさを g とする。

問 4　図 2 のように，ばねの長さの合計を 2ℓ にして小球を静止させた。小球の床からの高さ h を表す式として正しいものを，下の①～⑤のうちから一つ選べ。ただし，二つのばねと小球は同一鉛直線上にあるものとする。
$h =$ $\boxed{\ 4\ }$

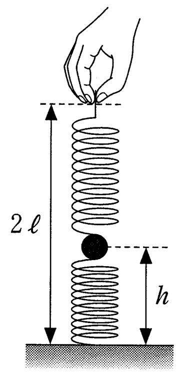


図　2

① $\ell - \dfrac{mg}{2k}$　　② $\ell - \dfrac{mg}{k}$　　③ $\ell - \dfrac{3mg}{2k}$

④ $\ell - \dfrac{2mg}{k}$　　⑤ $\ell - \dfrac{5mg}{2k}$

問 5　次に，図 3 のように，床から測った小球の高さが ℓ になるまで，ばねの上端をゆっくり引き上げた。このときのばねの長さの合計 y と，高さ h から ℓ まで小球を引き上げる間に手がした仕事 W を表す式の組合せとして正しいものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{5}$

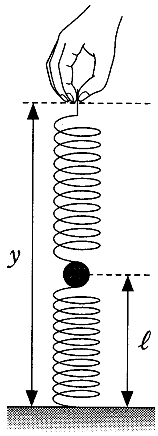


図　3

	y	W
①	$\dfrac{mg}{2k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+\dfrac{k}{2}(y-\ell)^2-k(2\ell-h)^2$
②	$\dfrac{mg}{2k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+k(y-2\ell)^2-k(\ell-h)^2$
③	$\dfrac{mg}{2k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+\dfrac{k}{2}(y-2\ell)^2-k(\ell-h)^2$
④	$\dfrac{mg}{k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+\dfrac{k}{2}(y-\ell)^2-k(2\ell-h)^2$
⑤	$\dfrac{mg}{k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+k(y-2\ell)^2-k(\ell-h)^2$
⑥	$\dfrac{mg}{k}+2\ell$	$mg(\ell-h)+\dfrac{k}{2}(y-2\ell)^2-k(\ell-h)^2$

物　理　第５問・第６問は，いずれか１問を選択し，解答しなさい。

第５問 （選択問題）

次の文章を読み，下の問い(**問１～３**)に答えよ。
〔**解答番号** $\boxed{1}$ ～ $\boxed{3}$ 〕(配点　15)

なめらかに動くピストンがついたシリンダー内に理想気体を入れたところ，圧力 P_0，体積 V_0，温度 T_0 になった。この状態から，図１に示す三つの過程により，気体の体積を V_1 に減少させる。過程(a)は断熱変化，過程(b)は等温変化，過程(c)は定圧変化である。

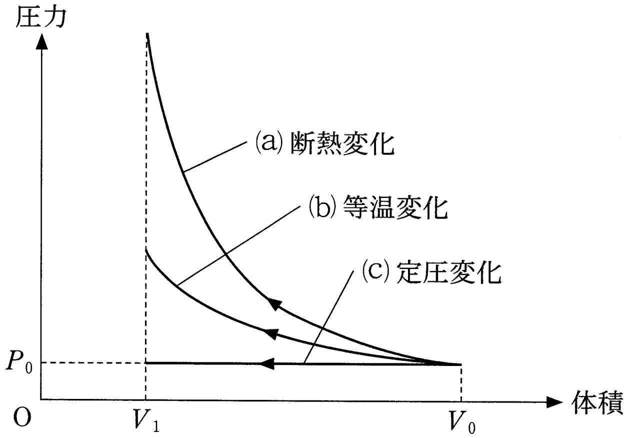


図　1

問 1　次の文中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ・ $\boxed{\text{イ}}$ に入れる記号の組合せとして正しいものを，下の①～⑨のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

熱の出入りがない過程は $\boxed{\text{ア}}$ であり，内部エネルギーが変化しない過程は $\boxed{\text{イ}}$ である。

	ア	イ
①	(a)	(a)
②	(a)	(b)
③	(a)	(c)
④	(b)	(a)
⑤	(b)	(b)
⑥	(b)	(c)
⑦	(c)	(a)
⑧	(c)	(b)
⑨	(c)	(c)

問 2　過程 (a)，(b)，(c) において，気体が外部からされる仕事をそれぞれ W_a，W_b，W_c とする。これらの大小関係として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$

① $W_a < W_b < W_c$　② $W_a < W_c < W_b$　③ $W_b < W_a < W_c$

④ $W_b < W_c < W_a$　⑤ $W_c < W_a < W_b$　⑥ $W_c < W_b < W_a$

物　理

問 3　図 2 に示した温度と体積の関係を表す実線**ウ**〜**カ**のうち三つは，過程 (a)，(b)，(c) に対応する。どの実線が過程 (a)，(b)，(c) に対応するか。組合せとして正しいものを，下の①〜⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{3}$

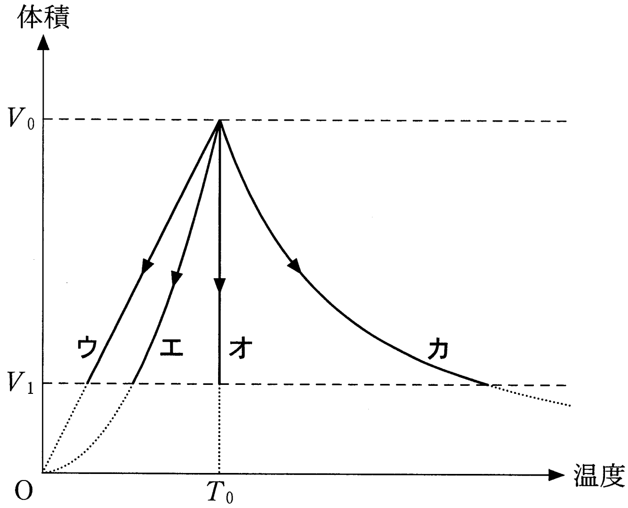


図　2

	(a) 断熱変化	(b) 等温変化	(c) 定圧変化
①	ウ	エ	オ
②	ウ	オ	カ
③	エ	ウ	オ
④	エ	オ	カ
⑤	オ	ウ	カ
⑥	オ	カ	エ
⑦	カ	ウ	エ
⑧	カ	オ	ウ

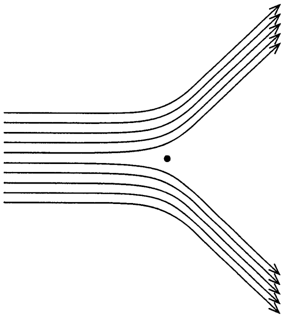
物　理　第5問・第6問は，いずれか1問を選択し，解答しなさい。

第6問 (選択問題)

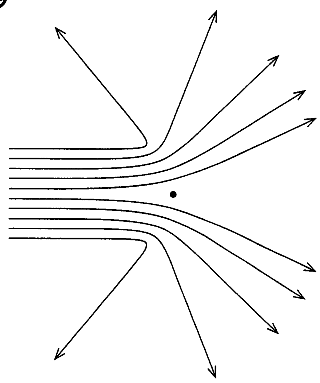
原子核の発見と原子の構造の解明に関する次の問い(**問1～3**)に答えよ。
〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{3}$ 〕(配点　15)

問1　金箔(きんぱく)に照射した α 粒子(電気量 $+2e$，e は電気素量)の散乱実験の結果から，ラザフォードは，質量と正電荷が狭い部分に集中した原子核の存在を突き止めた。金の原子核による α 粒子の散乱の様子を示した図として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，図中の黒丸は原子核の位置を，実線は原子核の周辺での α 粒子の飛跡を模式的に示している。$\boxed{1}$

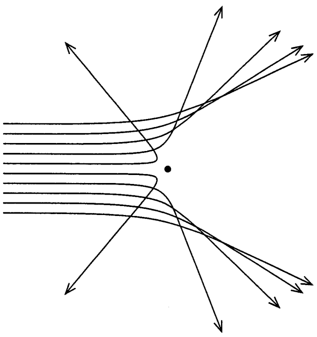
①



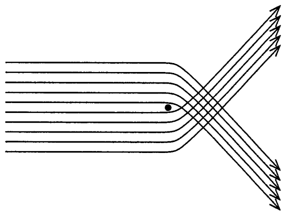
②



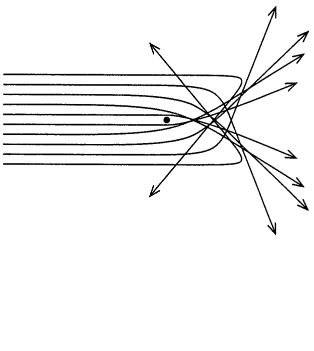
③



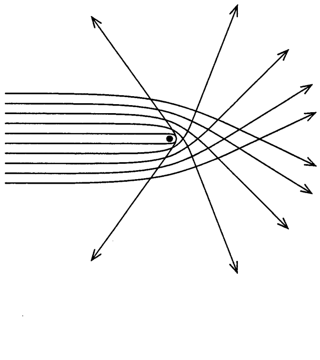
④



⑤



⑥



物　理

問 2　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ・ $\boxed{\text{イ}}$ に入れる語の組合せとして最も適当なものを，下の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{2}$

電子が原子核のまわりを円運動していると考えるラザフォードの原子模型では，電子が電磁波を放射して徐々に $\boxed{\text{ア}}$ を失い，電子の軌道半径が時間とともに小さくなってしまうという問題があった。ボーアはこの問題を解決するために「原子中の電子は，ある条件を満足する円軌道上のみで運動している」という仮説を導入した。このとき，電子はある決まったエネルギーをもち電磁波を放射しない。この状態を定常状態という。

さらに，「電子がある定常状態から別のエネルギーをもつ定常状態に移るとき，その差のエネルギーをもつ１個の $\boxed{\text{イ}}$ が放出または吸収される」という仮説も導入し，水素原子のスペクトルの説明に成功した。

	ア	イ
①	質　量	光電子
②	質　量	光　子
③	エネルギー	光電子
④	エネルギー	光　子
⑤	電　荷	光電子
⑥	電　荷	光　子

問 3　定常状態は，ド・ブロイによって提唱された物質波の考えを用いることにより，波動としての電子が原子核を中心とする円軌道上にあたかも定常波をつくっている状態だと解釈されるようになった。このとき，量子数 n（$n = 1, 2, 3, \cdots$）の定常状態における円軌道の半径 r，電子の質量 m，電子の速さ v，プランク定数 h の間に成り立つ関係式として正しいものを，次の①〜⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{3}$

① $\pi r^2 = \dfrac{nmv}{h}$　　② $\pi r = \dfrac{nmv}{h}$　　③ $2\pi r = \dfrac{nmv}{h}$

④ $\pi r^2 = \dfrac{nh}{mv}$　　⑤ $\pi r = \dfrac{nh}{mv}$　　⑥ $2\pi r = \dfrac{nh}{mv}$