# 物理

◆機械工学科　◆総合機械工学科
◆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）
◆情報システム学科／コンピュータサイエンス専攻
◆情報システム学科／情報ネットワーク専攻
◆情報デザイン学科／メディアデザイン専攻（I型）
◆情報デザイン学科／プロダクトデザイン専攻（I型）
◆総合情報学科／かおりデザイン専攻（I型）
◆総合情報学科／経営情報専攻（I型）

［I］　次の問いの $\boxed{\quad}$ 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，紙面上に $x$ 軸，$y$ 軸をとり，紙面に垂直に裏から表へ向かう向き（記号 ⊙）に $z$ 軸をとる。$r$ を正の定数として $0 < x < r$ の領域Dには $z$ 軸の正の向きに磁束密度の大きさ $B$ の一様な磁場（磁界）があり，$x > 2r$ の領域Eには $z$ 軸に平行に一様な磁場がある。$xy$ 平面上の $x < 0$ の領域にL字型の多角形の形をした1巻きコイル abcdef を置き，$x$ 軸の正の向きに一定の速さ $v$ で動かす。動かしている間，コイルは変形することなく，辺 ab は $y$ 軸に平行で，辺 bc は $x$ 軸に平行のままである。コイルの辺 ab，bc，cd，de の長さをそれぞれ $2r$，$r$，$r$，$2r$ とし，コイルの電気抵抗を $R$ とする。

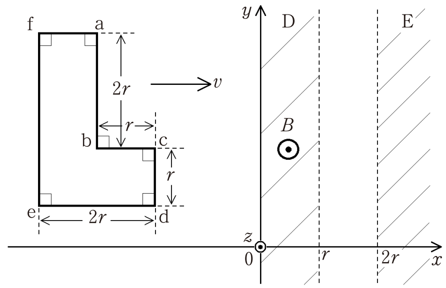
時刻0にコイルの辺 cd が $y$ 軸に重なったとする。この後，辺 cd は領域Dを通過して，時刻 $t_1 =$ $\boxed{\text{ア}}$ に領域Dの外に出る。

時刻 $t$（$0 < t < t_1$）において領域Dとコイルに囲まれた面との共通部分の面積を $S$ とすると，コイルを貫く磁束 $\Phi$ は $\Phi =$ $\boxed{\text{イ}}$ と表される。コイルを貫く磁束が時間的に変化すると，コイルに起電力が引き起こされて，コイルに電流が流れる。この現象を $\boxed{\text{ウ}}$ という。時間 $\varDelta t$ の間にコイルを貫く磁束が $\varDelta\Phi$ だけ変化したとすると，コイルに生じる起電力の大きさは $\left|\boxed{\text{エ}}\right|$ と表される。

時刻 $t$ が $0 < t < t_1$ にある場合，回路を貫く磁束は $\boxed{\text{オ}}$ となるので，この間にコイルに生じる起電力の大きさは $V_1 =$ $\boxed{\text{カ}}$ となる。したがって，辺 cd を流れる電流の強さは $I_1 =$ $\boxed{\text{キ}}$ で，向きは $\boxed{\text{ク}}$ となる。また，辺 ef を流れる電流の強さは $\boxed{\text{ケ}}$ $\times I_1$ で，向きは $\boxed{\text{コ}}$ となる。

時刻 $t$ が $t_1 < t < 2t_1$ にある場合，辺 cd を流れる電流の強さは $\boxed{\text{サ}}$ $\times I_1$ で，向きは $\boxed{\text{シ}}$ となる。

時刻 $t$ が $2t_1 < t < 3t_1$ にある場合，辺 cd に電流が全く流れなかった。このとき，領域Eの磁場の磁束密度の大きさは $\boxed{\text{ス}}$ $\times B$ で，向きは $\boxed{\text{セ}}$ となる。




解答群

$\boxed{\text{ア}}$
① $vr$　② $2vr$　③ $3vr$　④ $\dfrac{r}{v}$　⑤ $\dfrac{2r}{v}$
⑥ $\dfrac{3r}{v}$　⑦ $\dfrac{v}{r}$　⑧ $\dfrac{v}{2r}$　⑨ $\dfrac{v}{3r}$

$\boxed{\text{イ}}$
① $vB$　② $rvB$　③ $BS$　④ $vBS$　⑤ $rBS$
⑥ $\dfrac{B}{S}$　⑦ $\dfrac{S}{B}$　⑧ $\dfrac{vB}{S}$　⑨ $\dfrac{vS}{B}$　⓪ $\dfrac{rB}{vS}$

$\boxed{\text{ウ}}$
① 静電エネルギー　② 静電容量　③ 静電誘導　④ 誘電分極
⑤ 電気振動　⑥ 電磁誘導　⑦ オームの法則　⑧ クーロンの法則
⑨ フレミングの左手の法則　⓪ ホール効果

$\boxed{\text{エ}}$
① $\dfrac{\varDelta\Phi}{\varDelta t}$　② $\dfrac{\varDelta\Phi}{v\varDelta t}$　③ $\dfrac{B\varDelta\Phi}{v\varDelta t}$　④ $\dfrac{B\varDelta t}{\varDelta\Phi}$　⑤ $\dfrac{v\varDelta t}{\varDelta\Phi}$　⑥ $\dfrac{v\varDelta t}{B\varDelta\Phi}$

$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{カ}}$
① $Br^2$　② $Br^2t$　③ $Bvt$　④ $Brv$　⑤ $Brvt$
⑥ $\dfrac{Br^2}{t}$　⑦ $\dfrac{r^2}{B}$　⑧ $\dfrac{Brv}{t}$　⑨ $\dfrac{Br^2v}{t}$　⓪ $\dfrac{r^2v}{B}$

$\boxed{\text{キ}}$
① $RV_1$　② $\dfrac{V_1}{R}$　③ $\dfrac{R}{V_1}$　④ $RV_1^2$　⑤ $\dfrac{V_1^2}{R}$
⑥ $\dfrac{R}{V_1^2}$　⑦ $\dfrac{RV_1^2}{2}$　⑧ $\dfrac{V_1^2}{2R}$　⑨ $\dfrac{2R}{V_1^2}$

$\boxed{\text{ク}}$，$\boxed{\text{コ}}$，$\boxed{\text{シ}}$，$\boxed{\text{セ}}$
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 $z$ 軸の正の向き　⑥ $z$ 軸の負の向き
⑦ 無し

$\boxed{\text{ケ}}$，$\boxed{\text{サ}}$，$\boxed{\text{ス}}$
① 1　② 2　③ 3　④ $\dfrac{1}{2}$　⑤ $\dfrac{1}{3}$
⑥ $\dfrac{2}{3}$　⑦ $\dfrac{3}{2}$　⑧ $\dfrac{1}{10}$　⑨ $\dfrac{3}{10}$　⓪ 0

［Ⅱ］　次の問いの $\boxed{\phantom{ア}}$ 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。

物質は原子で構成される。原子は，正電荷を持つ $\boxed{\text{ア}}$ の周りを負電荷を持つ $\boxed{\text{イ}}$ が電磁気力で束縛されて取り巻いている構造を持つ。さらに，$\boxed{\text{ア}}$ は，正電荷を持つ $\boxed{\text{ウ}}$ と電荷を持たない $\boxed{\text{エ}}$ が電磁気力より強い核力によって結びつくことで構成される。$\boxed{\text{ア}}$ を構成する $\boxed{\text{ウ}}$ の個数を $Z$，$\boxed{\text{エ}}$ の個数を $N$ とすると，

$$\text{原子番号} = \boxed{\text{オ}}\text{，質量数} = \boxed{\text{カ}}$$

である。同じ原子番号を持つ原子は化学的な性質が似ているので，原子番号で原子あるいは $\boxed{\text{ア}}$ が種類分けされている。その種類のことを $\boxed{\text{キ}}$ という。同じ $\boxed{\text{キ}}$ であっても異なる質量数を持つ原子あるいは $\boxed{\text{ア}}$ を $\boxed{\text{ク}}$ という。なお，身の回りの電気製品を動かすエネルギーを供給する電流は，多数の $\boxed{\text{ケ}}$ の流れである。

原子番号と質量数の組み合わせによっては，$\boxed{\text{ア}}$ はエネルギー的に不安定であり自発的に放射線を放出して他の原子番号あるいは質量数の $\boxed{\text{ア}}$ に変化する（放射性崩壊）。放射線には 3 種類あり，$\alpha$ 線は $\boxed{\text{コ}}$，$\beta$ 線は $\boxed{\text{サ}}$，$\gamma$ 線は $\boxed{\text{シ}}$ の放出である。これらの放射線が生物に照射されると遺伝子が破壊されて生命活動を損なう恐れがあるので，放射性崩壊を起こす物質（放射性物質）を適切に管理する必要がある。

放射性物質の種類ごとに，最初の時刻に存在する $\boxed{\text{ア}}$ の個数が半数まで減少するのに必要な時間（半減期）が決まっている。ある放射性物質の半減期を $T$，その $\boxed{\text{ア}}$ の時刻 $t=0$ での個数を $N_0$，任意の時刻 $t$（$t \geqq 0$）での個数を $N(t)$ とすると，非負整数 $n$（$n = 0, 1, 2, \cdots$）を使って次の関係が成立する。

$$N(nT) = \boxed{\text{ス}}\,N\big((n-1)T\big) = \boxed{\text{セ}}\,N\big((n-2)T\big) = \cdots = \boxed{\text{ソ}}\,N_0$$

そして，$t = nT$ とおくと $n = \boxed{\text{タ}}$ となるので，時刻 $t$ において次の式が成立すると推測できる。

$$N(t) = \boxed{\text{チ}}\,N_0$$

（時刻 $nT$ だけでなく任意の時刻 $t$ でこの式が正しいことは，数学的に正確に証明できる。しかし，その証明まではここでは問わない。）この式から，放射性物質の $\boxed{\text{ア}}$ の個数が最初の個数の $1/x$ 倍（$x > 1$）になる時刻 $t_x$ が次の式で与えられることが分かる。

$$t_x = \boxed{\text{ツ}}$$

原子力発電の核燃料として主に使用される放射性物質は，質量数が 235 のウラン $^{235}\mathrm{U}$ である。原子炉では，この $^{235}\mathrm{U}$ に $\boxed{\text{エ}}$ を吸収させて崩壊を起こし，その際の放射線によって発生する熱で水を蒸発させ，その蒸気圧で発電機を回して発電している。$^{235}\mathrm{U}$ の崩壊で生じる $\boxed{\text{ア}}$ の中には放射性物質がある。その一つである質量数 137 のセシウム $^{137}\mathrm{Cs}$ は $\beta$ 線を放出する放射性物質であり，かつ人間の体内に蓄積される可能性があるため，適切な管理が必要な物質とされている。その $^{137}\mathrm{Cs}$ の半減期は約 30 年である。最初に $^{137}\mathrm{Cs}$ が 10 モル存在したとすると，1 モルまで減少するには約 $\boxed{\text{テ}}$ 年かかる。（計算に必要なら，$10 \fallingdotseq 2^{3.32}$ を使ってよい。）

解答群

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

① 単原子分子　② 多原子分子　③ 原子核　④ X 線　⑤ 電気力線
⑥ 回折格子　⑦ 陽子　⑧ 中性子　⑨ 光子　⓪ 電子

$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{カ}}$

① $Z$　② $N$　③ $ZN$　④ $\dfrac{Z}{N}$　⑤ $\dfrac{N}{Z}$
⑥ $Z+N$　⑦ $Z-N$　⑧ $N-Z$　⑨ $Z^2$　⓪ $N^2$

$\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{ク}}$

① 位相　② 元素　③ 原子間力　④ 分子間力　⑤ ド・ブロイ波
⑥ 導体　⑦ 同位体　⑧ 誘電体　⑨ 量子条件　⓪ 量子数

$\boxed{\text{コ}}$，$\boxed{\text{サ}}$，$\boxed{\text{シ}}$

① 電気力線　② 磁力線　③ 酸素原子核　④ ヘリウム原子核　⑤ リチウム原子核
⑥ 回折格子　⑦ 陽子　⑧ 中性子　⑨ 波長が短い光子　⓪ 電子

$\boxed{\text{ス}}$，$\boxed{\text{セ}}$，$\boxed{\text{ソ}}$

① $\dfrac{1}{2}$　② $2\times\dfrac{1}{2}$　③ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^2$　④ $n\times\dfrac{1}{2}$　⑤ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^n$
⑥ $(n-1)\times\dfrac{1}{2}$　⑦ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{n-1}$　⑧ $(n-2)\times\dfrac{1}{2}$　⑨ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{n-2}$　⓪ $0$

$\boxed{\text{タ}}$，$\boxed{\text{チ}}$

① $t$　② $tT$　③ $\dfrac{T}{t}$　④ $\dfrac{t}{T}$　⑤ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{nt/T}$
⑥ $\dfrac{nt}{2T}$　⑦ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/T}$　⑧ $\dfrac{t}{2T}$　⑨ $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/T-1}$　⓪ $\dfrac{t-T}{2T}$

$\boxed{\text{ツ}}$（補足：$x = 2^y$ のとき $y = \log_2 x$ である）

① $T+T\log_2 x$　② $T-T\log_2 x$　③ $-T+T\log_2 x$　④ $-T-T\log_2 x$
⑤ $T\log_2 x$　⑥ $-T\log_2 x$　⑦ $\dfrac{T}{\log_2 x}$　⑧ $-\dfrac{T}{\log_2 x}$　⑨ $\dfrac{\log_2 x}{T}$　⓪ $-\dfrac{\log_2 x}{T}$

$\boxed{\text{テ}}$（答えに最も近い選択肢を選べ）

① 1　② 5　③ 50　④ 100　⑤ 150　⑥ 200　⑦ 250　⑧ 300　⑨ 0.5　⓪ 0.1

［Ⅲ］ 図1のように，水平方向から角$\theta$だけ傾いた斜面に沿って上向きに$x$軸をとる。角$\theta$は，$\sin\theta = 4/5$，$\cos\theta = 3/5$となる角である。この斜面には物体を押し出して射出できる装置（カタパルト）が装備されている。このカタパルトで，質量$m$の小物体を$x = 0$から初速度0で射出する場合を考える。カタパルトが小物体を初速度0で押し始める時刻を$t = 0$とし，押し終える時刻を$t = t_1$とする。（時刻$t_1$でカタパルトは止まる。）カタパルトが時刻$t = 0$から$t_1$の間に物体に作用させる力$\vec{f}$は，$x$軸に平行であり，$x$成分$f(t)$は図2のグラフで示すように時間的に変化し，

$$f(t) = -bt + f_1 \qquad (b,\ f_1 \text{は定数})$$

と表される。ただし，時刻$t_1$において，小物体に作用する全ての力がつり合うとする。また，斜面は滑らかで小物体との間に摩擦はなく，空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさは$g$である。

以下の問いの答えは，$m$，$g$，$b$，$t_1$，$t$の中から必要なものを使って表せ。答えに角$\theta$の三角関数を使う場合は，$\sin\theta = 4/5$，$\cos\theta = 3/5$を代入すること。

まず，定数$f_1$を求めるために，時刻$t_1$でカタパルトが小物体を押し終える直前に注目する。この瞬間，小物体に作用するすべての力はつり合っている。

(1) この瞬間に物体に作用する重力を$\vec{F_1}$，垂直抗力を$\vec{N_1}$とする。$\vec{F_1}$の大きさ$F_1$と$\vec{N_1}$の大きさ$N_1$を答えよ。

(2) 図3には，小物体が白丸で描いてあり，カタパルトが小物体を押し終える直前の力$\vec{f}$の矢印も描いてある（図3の目盛りの最小幅は$\vec{f}$の長さの1/4)。重力$\vec{F_1}$を表す矢印と垂直抗力$\vec{N_1}$を表す矢印を解答用紙の図3に描け。ただし，どちらの矢印が重力あるいは垂直抗力なのか分かるように，記号$\vec{F_1}$と$\vec{N_1}$も図3に記入すること。

(3) $f_1$を求めよ。

次に，時刻$t_1$に小物体が押し出された瞬間の速さ$v_1$を求めるために，時刻$t = 0$から$t_1$の間にカタパルトが小物体を加速していく状況を考える。この加速の間に物体に作用する全ての力の和（合力）を$\vec{S}$とする。

(4) 図4には，小物体が白丸で描いてある。時刻$t$（$0 < t < t_1$）での合力$\vec{S}$の向きを表す矢印を解答用紙の図4に描け。また，$\vec{S}$の$x$成分$S_x(t)$を求めよ。

(5) 図5には，小物体が白丸で描いてある。時刻$t$（$0 < t < t_1$）での小物体の加速度を$\vec{a}$として，$\vec{a}$の向きを表す矢印を解答用紙の図5に描け。また，$\vec{a}$の$x$成分$a_x(t)$を求めよ。

(6) 時刻$t$（$0 < t < t_1$）で，加速度の$x$成分$a_x(t)$の時間変化を表すグラフを，解答用紙の図6に描け。ただし，図6において$a_1 = bt_1/m$である。

(7) 任意の時刻$t$で，小物体の斜面に沿った速度（速度の$x$成分）は，『時刻0から$t$の間で加速度の$x$成分$a_x$のグラフと$t$軸で囲む面積』で与えられる。時刻$t$（$0 < t < t_1$）での小物体の速度の$x$成分$v_x(t)$を求めよ。

(8) 時刻$t_1$での小物体の速さ$v_1$を求めよ。

(9) 時刻$t$（$0 < t < t_1$）で，速度の$x$成分$v_x(t)$の時間変化を表すグラフを，解答用紙の図7に描け。ただし，図7において$v_{\mathrm{top}} = bt_1^2/m$である。

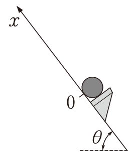


図1

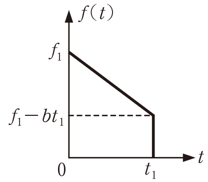


図2

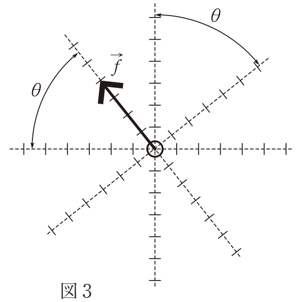


図3

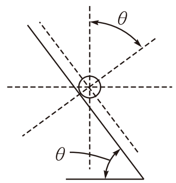


図4

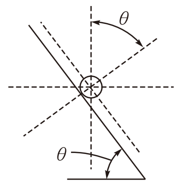


図5

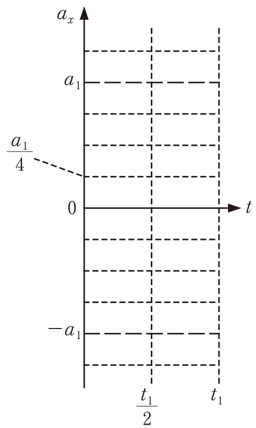


図6

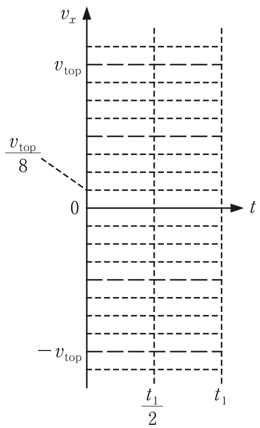


図7