試験開始の指示があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません．

Ⓣ

物　　理

（100 点　50 分）

注　意　事　項

1　解答用紙に，正しく記入・マークされていない場合は，採点できないことがあります．特に，解答用紙の選択科目欄（物理基礎・物理）にマークされていない場合又は複数の科目にマークされている場合は，０点となります．

2　この問題冊子は，31 ページあります．

試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの乱調及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を高く上げて監督者に知らせなさい．

3　解答は，解答用紙の解答欄にマークしなさい．例えば，［10］と表示のある問いに対して③と解答する場合は，次の（例）のように解答番号 10 の解答欄の③にマークしなさい．

（例）

解答番号	解　答　欄
10	①　②　❸　④　⑤　⑥　⑦　⑧　⑨　⓪　ⓐ　ⓑ

4　問題冊子の余白等は適宜利用してよいが，どのページも切り離してはいけません．

5　不正行為について

①　不正行為については厳正に対処します．

②　不正行為に見えるような行為が見受けられた場合は，監督者が口頭で注意します．

③　不正行為を行った場合は，その時点で受験を取りやめさせ退室させます．

6　試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい．

島田高校３年２学期末試験

物　　　　理

（解答番号 1 ～ 27 ）

第１問　次の問い（問１～５）に答えよ．（配点　25）

問１　系の絶対温度を T，体積を V としたとき，図１の $T-V$ グラフで表される熱サイクル A → B → C → A がある．系の圧力を P としたとき，この熱サイクルを表す $P-V$ グラフとして最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ． 1

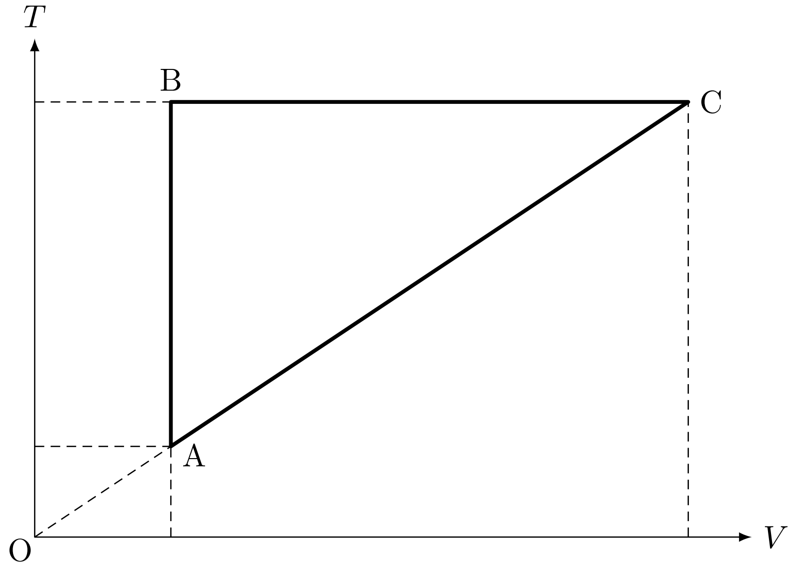
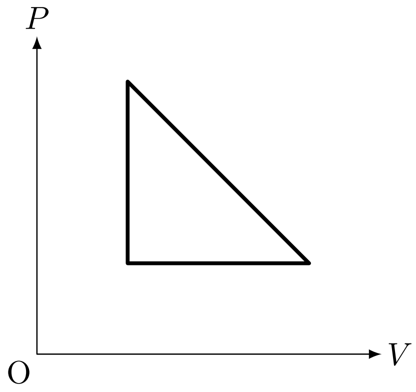
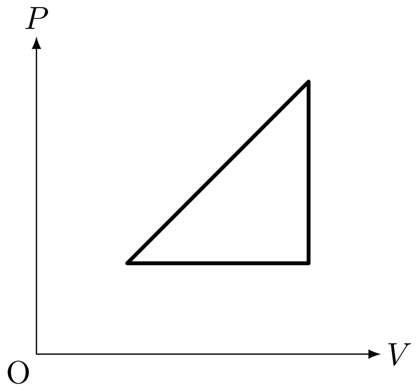
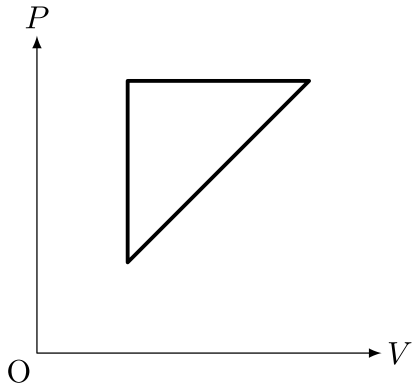
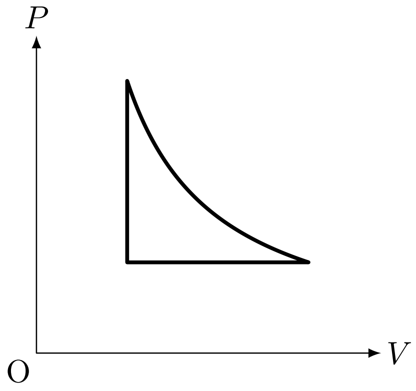


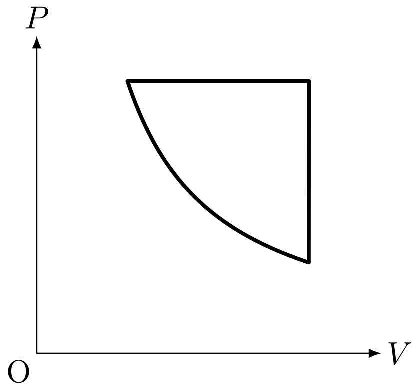
図１

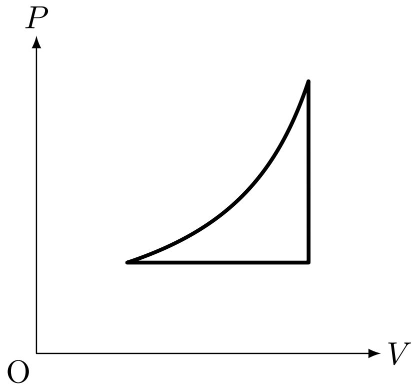
①


②


③


④


⑤


⑥


問2　図2のように，無限に広い水面上に同位相の波源 S_1，S_2 がある．各波源からは同心円状に円形波が広がっている．図2に描かれた実線は山の波面を，破線は谷の波面を表す．図2に示す水面上の点Pでは，2つの波源からの波が弱め合うことが観測された．点Pで観測される各波源からの波の位相差として最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ．［ 2 ］

① 0　② $\frac{\pi}{2}$　③ π　④ $\frac{3}{2}\pi$

⑤ 2π　⑥ $\frac{5}{2}\pi$　⑦ 3π　⑧ $\frac{7}{2}\pi$

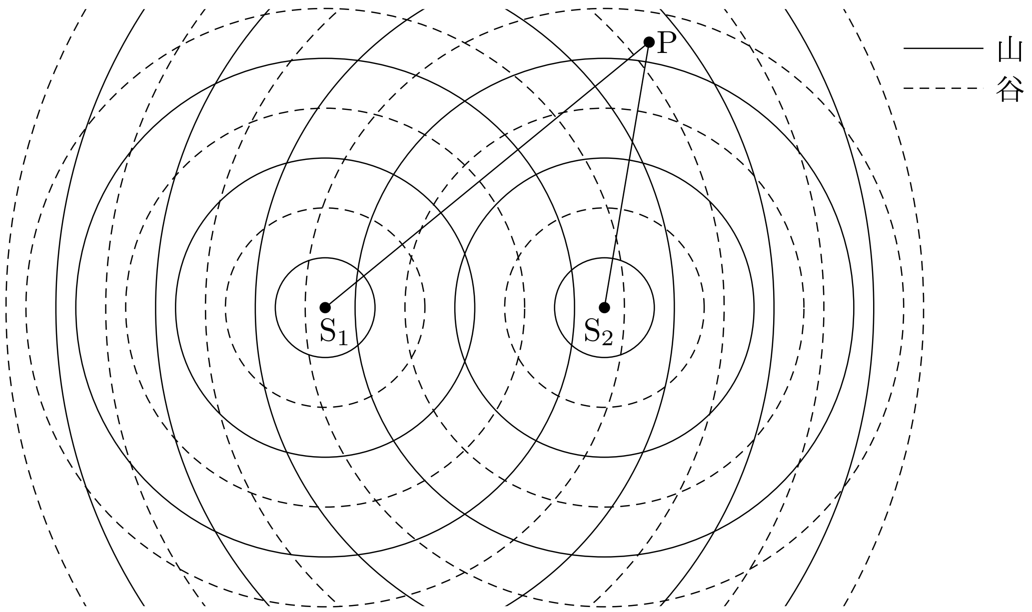


図2

問３　次の文章中の [3]・[4]・[5] に入れる語句として最も適当なものを，それぞれの直後の｛　｝で囲んだ選択肢のうちから一つずつ選べ．

半導体とは，導体と不導体の中間的な抵抗率を持つ物体のことであり，温度を上げると電気抵抗が小さくなるという性質がある．これは高温となると価電子が熱エネルギーを受け取り自由になる，すなわちキャリアが増加することによる．

p 型半導体は 14 族に 13 族（B，Al，Ga など）を混合した半導体であり，電圧をかけることで [3] ｛① ホール（正孔）　② 結合に余った電子｝をキャリアとして電流を流す．一方，n 型半導体は 14 族に 15 族（P，As，Sb など）を混合した半導体であり，電圧をかけることで [4] ｛① ホール（正孔）　② 結合に余った電子｝をキャリアとして電流を流す．

ダイオードは，p 型半導体と n 型半導体を組み合わせて作られる．p 型半導体と n 型半導体を接合したダイオードでは，あまり強く電圧をかけない限り [5] ｛① p 型半導体から n 型半導体　② n 型半導体から p 型半導体｝の方向には電流は流れない．これをダイオードの整流作用と呼ぶ．

問４　エネルギーの単位 J は，質量 m，速さ v の物体の運動エネルギーを考えることで $\mathrm{J} = \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}^{-2}$ と表すことができる．これに倣い，電気容量の単位 F として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ． [6]

① $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{A}$　② $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{A}^2$　③ $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{s}^2 \cdot \mathrm{A}$

④ $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{s}^2 \cdot \mathrm{A}^2$　⑤ $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{s}^4 \cdot \mathrm{A}$　⑥ $\mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{s}^4 \cdot \mathrm{A}^2$

物　理

問５　図３のように，滑らかな水平面内の円形ワイヤーに沿って等速円運動する小球がある．始状態から 90° だけ回転した位置に達した瞬間を終状態とし，この間運動量の大きさに変化はない．始状態から終状態に至るまでに小球が受けた力積と向きとして最も適当なものを，次の①～⑨のうちから一つ選べ．なお，選択肢に示された矢印のなす角は全て 45° である．［ 7 ］

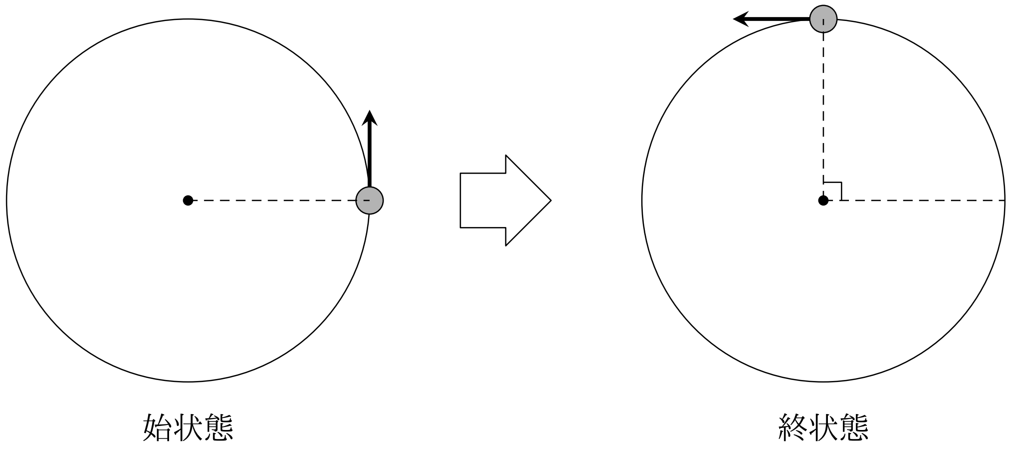
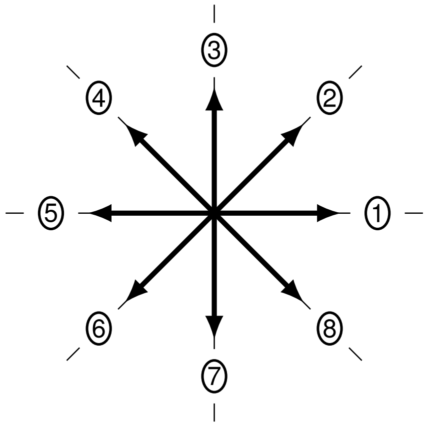


図１

［ 7 ］の選択肢



⑨　左図に該当なし

（下　書　き　用　紙）

物理の試験問題は次に続く.

物　理

第２問　コイルトレインに関する探究の過程についての次の文章を読み，下の問い（問１～５）に答えよ．（配点　25）

図１は，コイルトレインの模式図である．列車部分は，単三電池の両端をネオジム磁石で挟んで作成し，レールとなるコイルは，絶縁被膜加工されていない銅線を単三電池がぴったりと通過できるよう均一に巻くことで作成する．電池と磁石の断面積は等しく，電池の正極，負極に固定した磁石をそれぞれ F，R とする．このコイルを水平な床に固定し，列車をコイル内部で静かに放すと，列車はコイル内を R → F の向きに走り出す．電池はその両端を除き絶縁被膜されているものとし，銅線の内部に電池を含まない領域には電流は流れないものとする．また，銅線の形状変化や列車が受ける空気抵抗と摩擦力，磁石の電気抵抗，電池の内部抵抗は無視する．

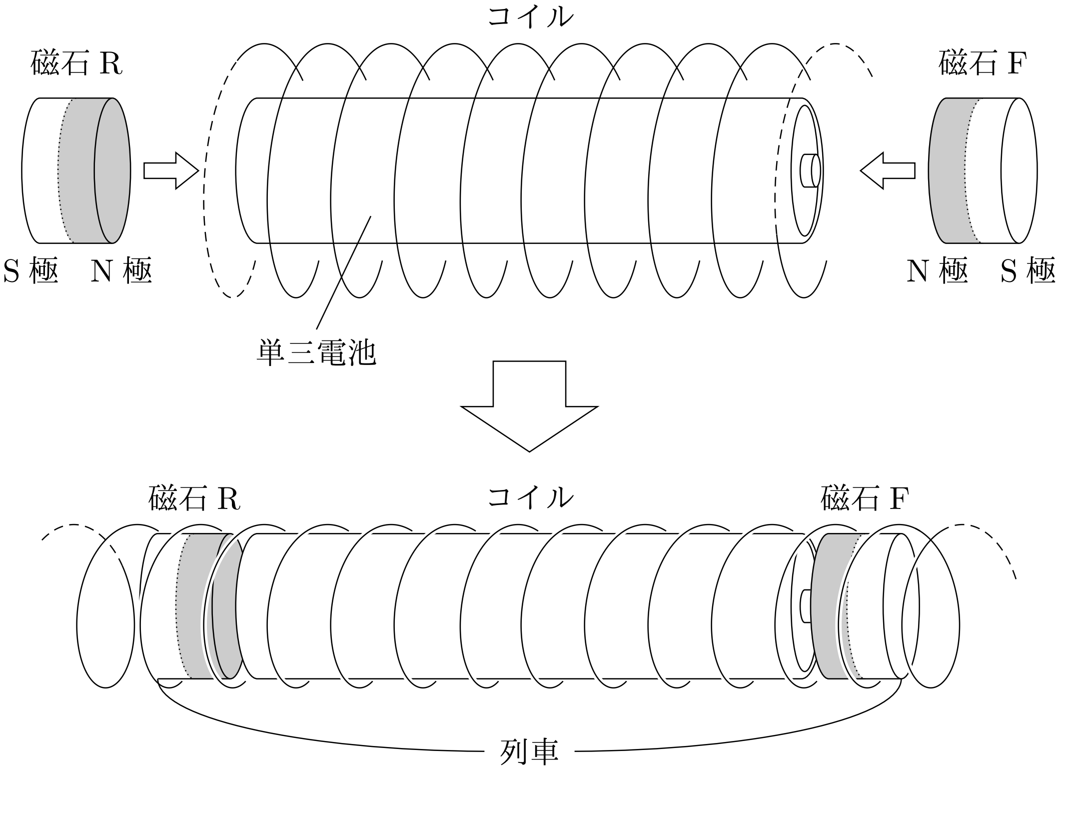


図１

列車の進行方向に x 軸を定め，列車の中心座標を x_{c} としたとき，位置 x にあるコイルを貫く磁束 Φ は正の定数 a，b を用いて次の式のように書ける．

$$\Phi = a + b(x_{\mathrm{c}} - x)$$

図 2 は，この式をグラフにしたものである．コイル 1 巻きに生じる誘導起電力は x 軸正方向から見たときの反時計回りを正とし，回路に流れる電流は電池を x 軸正方向に通過する向きを正とする．また，コイルの自己誘導は無視する．

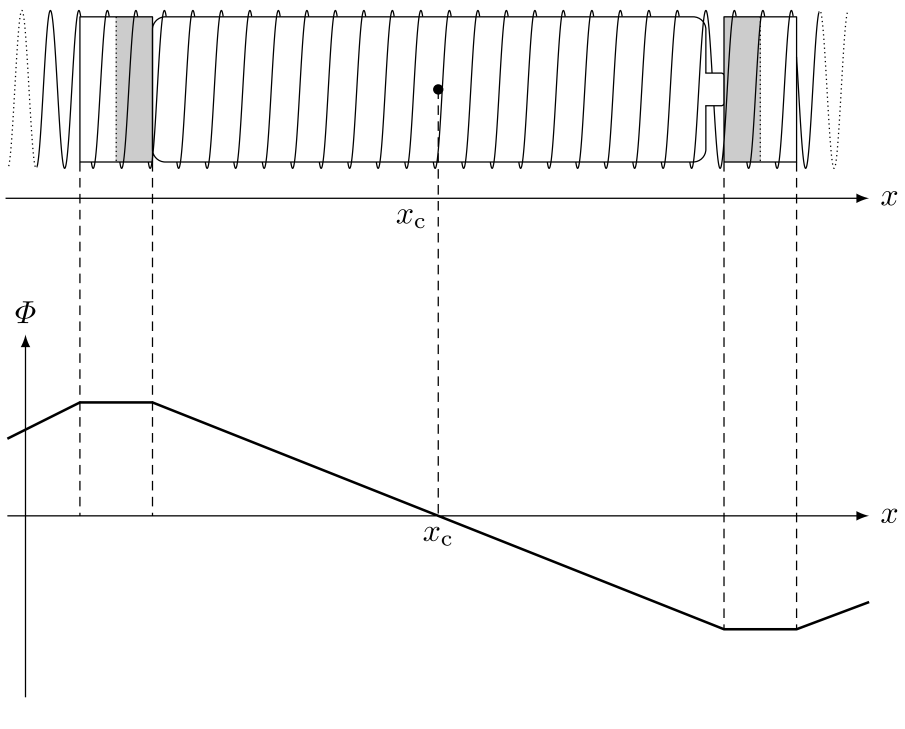


図 2

問 1　列車の速度を v としたとき，位置 x にあるコイル 1 巻きに生じる誘導起電力の向きと大きさの組み合わせとして最も適当なものを，後の ①～⑥ のうちから一つ選べ．なお，誘導起電力の向きは，x 軸の正方向から見るものとする． 8

物　理

	向き	大きさ
①	時計回り	av
②	時計回り	bv
③	時計回り	$2bv$
④	反時計回り	av
⑤	反時計回り	bv
⑥	反時計回り	$2bv$

問２　次の文章中の空欄 [ア] ～ [エ] に入れるものの組み合わせとして最も適当なものを，後の ①～⑧ のうちから一つ選べ． [9]

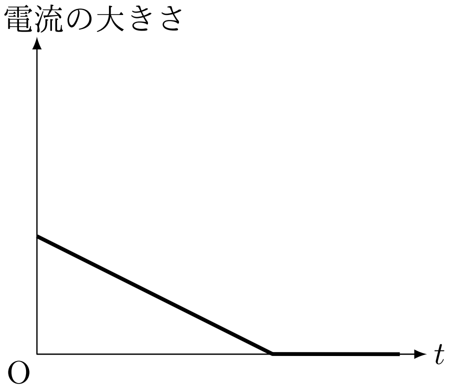
列車が運動しているとき，列車は [ア] 向きの力を受けている．よって，[イ] の法則より，コイルに流れる電流は，磁石 F，R の作る磁場から [ウ] 向きの力を受けていることが分かる．この議論から考えられる電流の向きは，電池の向きと矛盾していない．

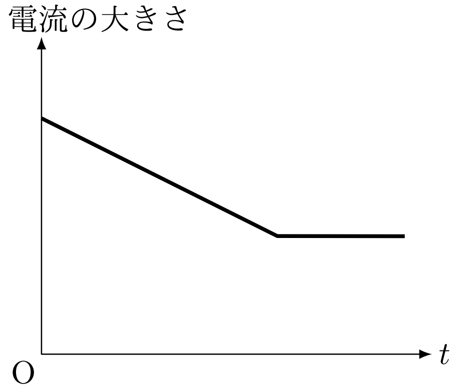
	ア	イ	ウ
①	x 軸正	作用反作用	x 軸正
②	x 軸正	作用反作用	x 軸負
③	x 軸正	慣性	x 軸正
④	x 軸正	慣性	x 軸負
⑤	x 軸負	作用反作用	x 軸正
⑥	x 軸負	作用反作用	x 軸負
⑦	x 軸負	慣性	x 軸正
⑧	x 軸負	慣性	x 軸負

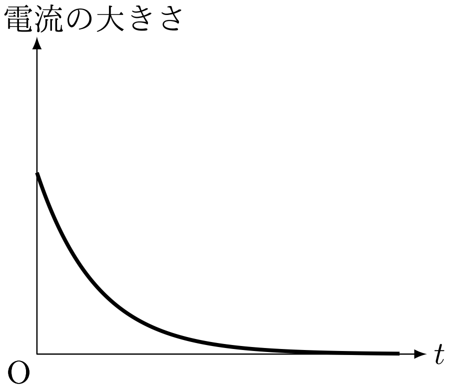
問３　コイル１巻き当たりの誘導起電力の大きさを V，コイル１巻き当たりの抵抗値を R，電池の起電力を E とし，回路に流れる電流を I とする．コイルの電池を内部に含む部分の総巻き数を N としたとき，キルヒホッフ第２法則を表す式として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ． 10

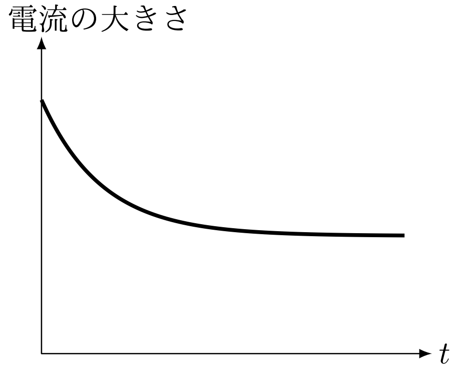
① $E+V=RI$　② $E-V=RI$　③ $E+NV=RI$
④ $E-NV=RI$　⑤ $E+NV=NRI$　⑥ $E-NV=NRI$

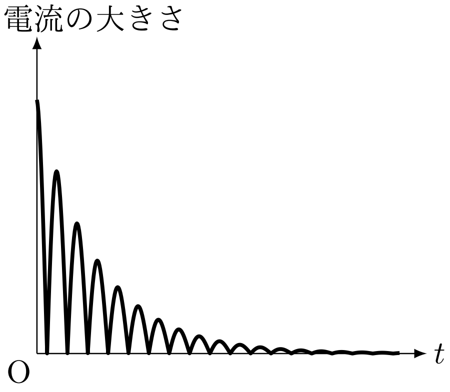
問４　回路に流れる電流の大きさと時刻 t の関係を表すグラフとして最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ． 11

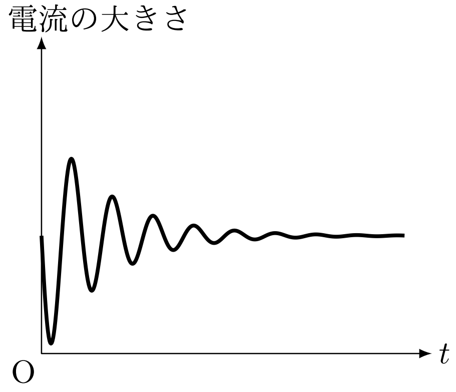
①


②


③


④


⑤


⑥


物　理

問５　次の文章中の空欄 [12] ・ [13] に入れる式として最も適当なものを，それぞれの選択肢のうちから一つずつ選べ．

列車から手を放してから十分な時間が経過すると，列車は一定の速さ v_f で運動する．この間に列車がされた仕事 W_1 と，誘導起電力が回路にした仕事 W_2 には [12] の関係が成り立つ．したがって，列車と回路についてエネルギー保存則を考えれば，列車の速さ v_f は，銅線で生じたジュール熱を J，電池が回路にした仕事を W_3 とすると [13] となる．

[12] の選択肢

① $W_1 + W_2 = 0$　② $W_1 - W_2 = 0$　③ $W_1 + 2W_2 = 0$

④ $W_1 - 2W_2 = 0$　⑤ $2W_1 + W_2 = 0$　⑥ $2W_1 - W_2 = 0$

[13] の選択肢

① $\sqrt{\dfrac{2(W_3 + J)}{m}}$　② $\sqrt{\dfrac{2(W_3 - J)}{m}}$　③ $\sqrt{\dfrac{2(W_3 + W_2 + J)}{m}}$

④ $\sqrt{\dfrac{2(W_3 + W_2 - J)}{m}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{2(W_3 - W_2 + J)}{m}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{2(W_3 - W_2 - J)}{m}}$

（下 書 き 用 紙）

物理の試験問題は次に続く.

物　理

第３問　眼鏡の仕組みに関する探究の過程についての次の文章を読み，下の問い（問１～５）に答えよ．（配点　25）

図 1 は，ヒトの眼の構造を示した模式図である．黒目の部分の外側には角膜と呼ばれる薄い膜が存在し，光はその角膜を通過して眼球内に入射する．その際，水晶体が凸レンズとして機能し，網膜上に外界とは反転した像が結ばれる．そして，網膜上で吸収された光によって生じた神経電気パルスが視神経を通り，像の情報が脳へと伝達される．以上のメカニズムによって，我々は「物を見て認識する」ことができる．空気の屈折率を 1，空気中の光の速さを c，プランク定数を h とする．

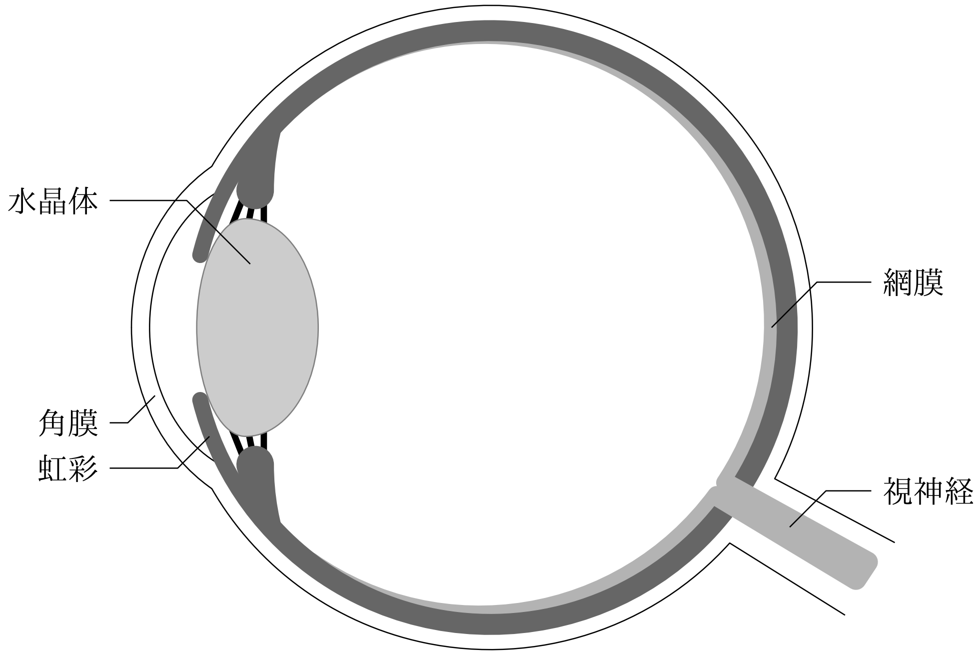


図 1

問１　眼球の直径は約 2.5 cm である．眼から距離 97.5 cm にある物体が網膜上でぼやけることなく結像するとき，水晶体の焦点距離 f を有効数字 2 桁で求めるとどうなるか．次の式中の空欄 [14]・[15] に入れる数字として最も適当なものを，後の ①～⓪ のうちから一つずつ選べ．ただし，同じものを繰り返し選んでもよい．

$f =$ [14] $\times 10^{[15]}$ cm

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

問２　光は，光子（フォトン）と呼ばれる粒子の集団と考えることができる．光の振動数を ν とするとき，光の波長 λ と，光子の運動量の大きさ p として最も適当なものを，それぞれの選択肢のうちから一つずつ選べ．

$\lambda =$ [16]
$p =$ [17]

[16] の選択肢

① $\sqrt{c\nu}$　② $c\nu$　③ $(c\nu)^2$
④ $\dfrac{1}{c\nu}$　⑤ $\dfrac{c}{\nu}$　⑥ $\dfrac{\nu}{c}$

[17] の選択肢

① $h\nu$　② $hc\nu$　③ $\dfrac{h\nu}{c}$
④ $\dfrac{h}{\nu}$　⑤ $\dfrac{hc}{\nu}$　⑥ $\dfrac{h}{c\nu}$

物　理

問３　次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入れるものの組み合わせとして最も適当なものを，後の ①～⑧ のうちから一つ選べ． 18

水晶体の屈折率を n とすると，水晶体中の光の波長は空気中の波長に比べて ア 倍となる．したがって，空気中から水晶体を通過する際，光子のエネルギーは イ ．また，光子の運動量は ウ ことが分かる．

	ア	イ	ウ
①	n	保存する	保存する
②	n	保存する	保存しない
③	n	保存しない	保存する
④	n	保存しない	保存しない
⑤	$\frac{1}{n}$	保存する	保存する
⑥	$\frac{1}{n}$	保存する	保存しない
⑦	$\frac{1}{n}$	保存しない	保存する
⑧	$\frac{1}{n}$	保存しない	保存しない

問４　次の文章中の 19 ・ 20 ・ 21 に入れる語句として最も適当なものを，それぞれの直後の｛　｝で囲んだ選択肢のうちから一つずつ選べ．

近視とは，網膜よりも手前で像を結んでしまう状態であり，網膜上で明瞭な像が結ばれないためにぼやけた視界となる．近視の対処法として，しばしば近視用眼鏡が利用される．近視用眼鏡とは，結像する位置を後ろへずらすことで，網膜上で明瞭な像を結ぶようにするための装置である．

ここで，凸レンズは光を 19 ｛① 狭める　② 拡げる　③ 様々な方向に散乱する｝性質があり，凹レンズは光を 20 ｛① 狭める　② 拡げる　③ 様々な方向に散乱する｝性質がある．そのため，一般に近視用眼鏡では 21 ｛① 凸レンズ　② 凹レンズ｝を用いる．また，老眼鏡などの遠視用眼鏡では，遠視用眼鏡とは逆の性質のレンズを利用する．

物　理

凹レンズを用いて作成した，図 2 のような眼鏡を考えてみよう．水晶体と眼鏡の間隔を h，水晶体と網膜の距離を b，水晶体の焦点距離を f とし，点 A にある物体と眼鏡の距離を a とする．

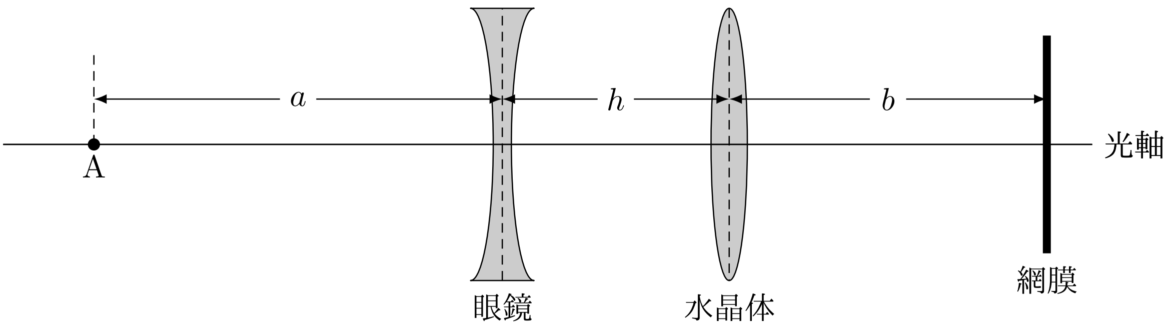


図 2

問 5　図 2 の凹レンズの焦点距離 F が満たす式として最も適当なものを，次の ①～⑥ のうちから一つ選べ．　22

① $\dfrac{a+F}{aF+(a+F)h}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$　　② $\dfrac{a+F}{aF-(a+F)h}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$

③ $\dfrac{a-F}{aF+(a-F)h}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$　　④ $\dfrac{a+F}{aF+(a+F)h}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{f}$

⑤ $\dfrac{a+F}{aF-(a+F)h}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{f}$　　⑥ $\dfrac{a-F}{aF+(a-F)h}+\dfrac{1}{b}=-\dfrac{1}{f}$

（下 書 き 用 紙）

物理の試験問題は次に続く.

物　理

第４問　核融合に関する次の文章を読み，後の問い（問１～５）に答えよ．（配点 25）

太陽は，主に ^{1}H 原子（陽子）を燃料としたｐ－ｐ連鎖反応と呼ばれる核融合反応が進むことでに膨大なエネルギーを生み出している．太陽内の水素は，太陽による非常に大きな万有引力によって封じ込められることで極めて高密度なプラズマ状態を維持し，温度 6000 万 K 程度で核融合が実現している．真空中の光速度を c とし，核反応は全て真空中で起こるものとする．

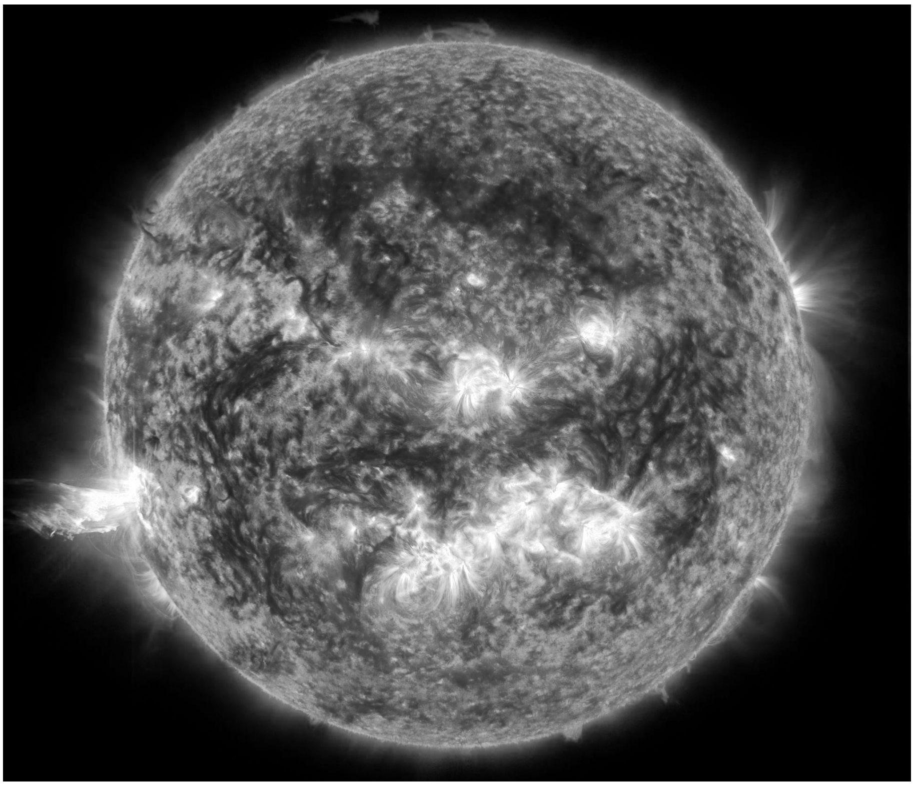


図１　NASA が公開している太陽の写真

https://science.nasa.gov/image-detail/amf-gsfc_20171208_archive_e001435/

問１　次の (a)〜(c) のうち，核反応で保存するものはどれか．その組み合わせとして最も適当なものを，後の ①〜⑧ のうちから一つ選べ． **23**

(a)　質量

(b)　電荷

(c)　核子数

① (a)　　② (b)　　③ (c)

④ (a), (b)　　⑤ (b), (c)　　⑥ (c), (a)

⑦ (a), (b), (c)　　⑧ 該当なし

問２　p − p 連鎖反応では，最終的に以下の反応によってヘリウム 4 が生じる．

$$^{3}\mathrm{He} + {}^{3}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}\mathrm{He} + \mathrm{p} + \mathrm{p} \quad \cdots\cdots\cdots (*)$$

また，質量数 A，原子番号 Z の原子 $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ の原子核の質量を M_{X}，陽子の質量を m_{p}，中性子の質量を m_{n} とすると，$^{A}_{Z}\mathrm{X}$ 原子核の結合エネルギー B_{X} は，

$$B_{\mathrm{X}} = \{Zm_{\mathrm{p}} + (A - Z)m_{\mathrm{n}}\}c^2 - M_{\mathrm{X}}c^2$$

と定義される．ヘリウム 3 の原子核の結合エネルギーを B_3，ヘリウム 4 の原子核の結合エネルギーを B_4 としたとき，$(*)$ の反応によって生じる反応熱を表す式として最も適当なものを，次の ①〜⑥ のうちから一つ選べ． **24**

① $2B_3 + B_4 + 2m_{\mathrm{p}}c^2$　　② $2B_3 - B_4 - 2m_{\mathrm{p}}c^2$　　③ $2B_3 - B_4$

④ $-2B_3 - B_4 - 2m_{\mathrm{p}}c^2$　　⑤ $-2B_3 + B_4 + 2m_{\mathrm{p}}c^2$　　⑥ $-2B_3 + B_4$

物　理

地上の太陽とも呼ばれる核融合炉は，重水素 D（^{2}H）と三重水素 T（^{3}H）の核反応（D − T 反応）の利用を想定されることが多い．D − T 反応を用いた核融合では，放射線を放出し続ける放射性同位体は発生せず，核分裂を利用した核分裂炉のような連鎖反応がないため暴走が起こることもない．このような理由から，核融合炉を利用した発電は未来のクリーンエネルギーとして注目されている．

D − T 反応の核反応は以下の反応式で表される．

$$\mathrm{D} + \mathrm{T} \longrightarrow {}^{4}\mathrm{He} + \mathrm{n}$$

ここで，D は重水素，T は三重水素，n は中性子を表す．

この核反応を，図 2 のような 2 つの粒子の弾性衝突でモデル化して考えてみよう．重水素 D の質量を $2m$，三重水素 T の質量を $3m$，エネルギーは等しく K_0 である．2 つの粒子は同一直線上を逆向きに運動しており，三重水素の運動方向に x 軸を定める．

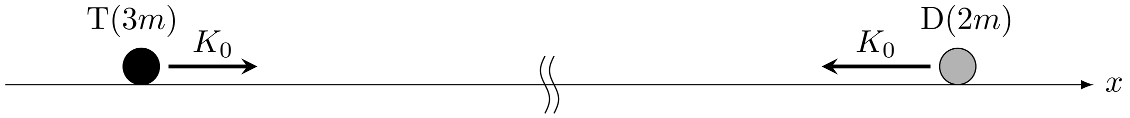


図 2

問３　重水素 D の運動量の大きさとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ．［25］

① $\sqrt{mK_0}$　② $\sqrt{2mK_0}$　③ $\sqrt{3mK_0}$　④ $2\sqrt{mK_0}$

問４　次の文章中の空欄 **ア** ～ **ウ** に入れる数式の組み合わせとして最も適当なものを，後の ①～⑨ のうちから一つ選べ． **26**

2つの粒子がある一定の距離まで接近すると核融合反応が起こる．粒子のエネルギーが K_0 のとき，2つの粒子が最も接近した瞬間に核融合が起こる距離まで達したとする．2つの粒子が最も接近したときの重水素Dの運動量の大きさを P_{D}，三重水素Tの運動量の大きさを P_{T} とすると，両者の大小関係は **ア** である．また，2つの粒子からなる系の始状態の運動量の大きさを P とすると，核融合が起こった直後のヘリウム4と中性子の運動エネルギーの和は **イ** と求まる．

	ア	イ
①	$P_{\mathrm{D}} < P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{10m}$
②	$P_{\mathrm{D}} < P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{25m}$
③	$P_{\mathrm{D}} < P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{4P^2}{25m}$
④	$P_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{10m}$
⑤	$P_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{25m}$
⑥	$P_{\mathrm{D}} = P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{4P^2}{25m}$
⑦	$P_{\mathrm{D}} > P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{10m}$
⑧	$P_{\mathrm{D}} > P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{P^2}{25m}$
⑨	$P_{\mathrm{D}} > P_{\mathrm{T}}$	$\dfrac{4P^2}{25m}$

物　理

核融合前後での運動量保存則とエネルギー保存則から，核融合後のヘリウム 4 と中性子の運動エネルギーの和は，核融合前の重水素と三重水素の運動エネルギーの和 $2K_0$ に比べて十分小さいことが分かる．そのため，核融合が起こった瞬間の粒子間の距離を r_0，電気素量を e とすると力学的エネルギー保存則から

$$2K_0 \fallingdotseq \frac{k_0 e^2}{r_0}$$

としてよい．また，必要ならば表 1 の物理定数を用いよ．

表 1　物理定数

名称	記号	数値・単位
真空中の光速	c	3.0×10^{8} m/s
電気素量	e	1.6×10^{-19} C
クーロンの法則の比例定数	k_0	9.0×10^{9} N$^2 \cdot$ m^2/C^2
ボルツマン定数	k_B	1.4×10^{-23} J/K
水素原子核の質量	m	1.7×10^{-27} kg
核融合の起こる最接近距離	r_0	1.0×10^{-14} m

問５　次の文章中の空欄 [27] に入れる数値として最も適当なものを，後の ①〜⑥ のうちから一つ選べ． [27]

核融合炉内の重水素と三重水素はプラズマとして存在している．プラズマを絶対温度 T の単原子分子理想気体と同様の振る舞いをするものとして考えると，分子１個は $\frac{3}{2}k_{\mathrm{B}}T$ のエネルギーを持つと考えられるので，核融合炉内のプラズマの温度は $5 \times 10^{\boxed{27}}$ K 程度であることがわかる．

① 2　② 4　③ 6　④ 8　⑤ 10　⑥ 12