

第1問

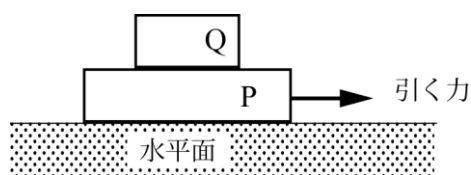
問1 図のように滑らかな水平面上に物体Pを置き、その上に物体Qをのせる。物体Pを一定の力で水平に引いた。引く力の大きさを0から徐々に大きくしていったときの、PがQに及ぼす摩擦力 f の大きさについて考える。

- (a) Pを引く力の大きさがある大きさのときに、PとQは一体となって動き始めた。
- (b) Pを引く力の大きさを(a)の2倍としたときも、PとQは一体となって動いた。
- (c) Pを引く力の大きさをさらに大きくしたときQがPに対してすべって動き出す直前であった。
- (d) Pを引く力の大きさをさらに大きくしたときに、QはPに対してすべって動き出した。

上の(a)から(d)のそれぞれの場合の摩擦力 f の大きさを f_a , f_b , f_c , f_d とする。これらの大小関係について、最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

1

- ① $f_a = f_b$, $f_c = f_d$
- ② $f_a = f_b$, $f_c < f_d$
- ③ $f_a < f_b$, $f_c > f_d$
- ④ $f_a < f_b$, $f_c = f_d$
- ⑤ $f_a > f_b$, $f_c > f_d$



解説 (正解③)

運動方程式より物体Qの質量を m 、加速度を a とするとはたらく力は $f=ma$ と与えられる。PとQが一体となって運動するときはPとQの加速度は等しい。(a)と(b)を比較すると(b)の加速度が大きいので $f_a < f_b$ である。一方、(c)と(d)を比較すると(c)は最大静止摩擦力がはたらき、(d)は動摩擦力がはたらいっている。最大静止摩擦力は動摩擦力より大きく $f_c > f_d$ である。したがって正解は③である。

問2 水平でまっすぐな長い通路に、一定の速さ V で動く長さ L の動く歩道が1本ある。A君は動く歩道の上を、動く歩道に対して大きさ v の一定の相対速度で往復した。一方、B君はその隣の静止した床面を、同じ距離 L の区間を一定の速さ v で往復した。2人が向きを変える際にかかる時間は同じとして、A君、B君が同時にスタートして、どちらが早く出発点に戻ってきたか。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 2

- ① A君とB君は同時に戻る。
- ② A君がB君より早い。
- ③ B君がA君より早い。
- ④ 動く歩道の速さと走る速さの関係によって、どちらが早いかわ変わる。

解説（正解③）

一定の速度 v_0 で運動するときの距離 x と必要とする時間 t の関係は $x=v_0t$ である。A君の床面に対する速度は行きと帰りで、それぞれ $v+V$ と $v-V$ である。したがって、A君が必要とする時間 t_A は $t_A=L/(v+V)+L/(v-V)$ である。一方、B君が必要とする時間 t_B は $t_B=2L/v$ である。2つを比較すると $t_A > t_B$ である。したがって正解は③である。

問 3 新幹線のぞみ号の発車時の加速度(起動加速度という)は 2.6 km/h/s (毎秒あたりの時速の変化 $[\text{km/h/s}]$ は鉄道で使う加速度の単位)である。加速度は一定, 新幹線の全長を 400 m , ホームの長さを 400 m として, 新幹線が発車して完全にホームから離れる瞬間の速さはいくらか。最も適当なものを, 次の①～⑥の中から1つ選びなさい。



3

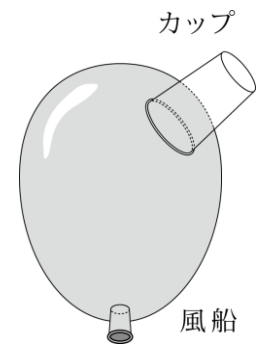
- ① 1.7 m/s ② 2.4 m/s ③ 4.6 m/s
④ 17 m/s ⑤ 24 m/s ⑥ 46 m/s

解説 (正解⑤)

等加速度運動では, 初速 0 から v までに進んだ距離 x と加速度 a の関係は $v^2=2ax$ である。のぞみ号の発車時の加速度 2.6 km/h/s の単位を変換すると 0.72 m/s^2 であり, 距離 400 m を代入して速度が 24 m/s と求まる。したがって正解は⑤である。

問 4 ある程度膨らませたゴム風船の表面に、軽いプラスチックカップの口を押し付ける。その後、さらに風船を膨らませるとカップが風船から離れなくなる。その理由の説明として、最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 4

- ① 風船内の温度が上がって風船のゴムの粘着度が増したから。
- ② 風船内の圧力が上がって大気圧との間でカップを押しつけ合ったから。
- ③ 風船内の圧力が下がって大気圧がカップを押し付けたから。
- ④ カップの中の空気の体積が増えて圧力が下がったから。
- ⑤ カップの中の空気の体積が減って圧力が上がり風船を押し付けたから。



解説（正解④）

風船を膨らませると、その表面は平らに近づく。このためにカップの中の空気の体積が増えて圧力が低下する。カップの外側には大気圧がはたらいているので、カップは風船から離れなくなる。これは吸盤がなめらかな面に張り付く現象と同じである。したがって正解は④である。

問 5 断熱された容器に、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の水 300 g と $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の氷 200 g を入れて $6.7\times 10^4\text{ J}$ の熱を加えた。加熱後の温度はいくらか。氷の定圧比熱を $2.1\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、水の定圧比熱を $4.2\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、氷の融解熱を 330 J/g とする。ただし、熱は容器および外部に逃げていかないものとする。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 5

- ① $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ② $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ③ $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ④ $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⑤ $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

解説（正解②）

$0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の水 300 g と $-5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の氷 200 g を混合すると、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ の水を凍らせながら氷の温度が $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで上昇する。このとき水が 6.4 g が凍る ($2.1\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})\times 200\text{ g}\times 5.0\text{ K} = 2100\text{ J}$, $2100\text{ J}/330\text{ J/g} = 6.4\text{ g}$) 206.4 g の氷を解かすために必要な熱量は $6.8\times 10^4\text{ J}$ ($330\text{ J/g}\times 206.4\text{ g} = 6.8\times 10^4\text{ J}$)であり、与えた熱量ではすべての氷は融けず加熱後も $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ である。したがって正解は②である。

問 6 以下の文章は空気中を伝わる音について説明したものである。次の①～⑥の中から誤っているものを1つ選びなさい。

6

- ① 音が伝わる速さは、気圧によりほとんど変化しない。
- ② 音が伝わる速さは、音の振動数により変化しない。
- ③ 音が伝わる速さは、温度が高いほど大きい。
- ④ 音が伝わる速さは、湿度が高いほど大きい。
- ⑤ 音源が観測者に対して遠ざかるとき、観測者が聞く音の振動数は音源の振動数とは異なる。
- ⑥ 音の振動数は、風が吹く方向によって変化する。

解説（正解⑥）

①の気圧に対する音速の変化はわずかであり、ほとんど変化しないことが知られている。②と③は音の性質として良く知られている。④の湿度に対する音速の変化は大きくないが、湿度が高いほど速い。また⑤はドップラー効果である。以上、①～⑤は正しい説明である。風が吹くことで音に伝わる方向と風向きによって音の波長は変化するが、観測者が聞く音の振動数は変化しない。したがって⑥誤りである。正解は⑥である。

問7 分光器はスリットを通した光をプリズムや回折格子に入射させる構造になっている。スリットのはたらきとして、最も重要と考えられるものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 7

- ① 分光器の中を暗くする。
- ② 分光されたスペクトルが重ならないようにする。
- ③ 分光されたスペクトルの明るさを調整する。
- ④ 分光器に組み込まれているプリズムや回折格子の大きさに入射光の大きさを調整する。

解説（正解②）

分光器は、観測する光にどのような波長の光が含まれているかを調べる装置である。回折格子を利用した分光器を例にとると、入射光の波長によって回折角が異なることを利用する。これによって、波長の異なる回折光は回折格子から離れた位置にあるスクリーンや受光素子の異なる位置に届く。精度良く波長を測定するためには波長の近い光がスクリーンや受光素子で重ならないことが重要である。このためには入射光の幅が狭いことが望ましく、分光器は狭いスリットを通した光が必要となる。①と③もスリットの働きの一つである。また、④も分光器を作製する際に必要な働きである。しかし、最も重要なことは精度良く波長を測定するための工夫であり、したがって正解は②である。

問 8 図のように、帯電していない2つの箔検電器の天板を金属棒でつなぎ、左の箔検電器の天板に負に帯電したエボナイト棒を近づけた。このとき2つの箔検電器の箔は開いた。エボナイト棒を近づけたまま、絶縁体を使って金属棒を取り除いてから、エボナイト棒を遠ざけた。その後、左右の箔検電器の天板に負に帯電したエボナイト棒を近づけると、それぞれの箔はどのような動きをするか。最も適当な組み合わせを、次の①～④の中から1つ選びなさい。ただし、箔が「いったん閉じてから再び開く」場合は、「閉じる」とする。

8

	左の検電器の箔	右の検電器の箔
①	閉じる	閉じる
②	閉じる	開く
③	開く	閉じる
④	開く	開く



解説（正解②）

帯電していない2つの箔検電器の天板を金属棒でつなぎ、左側の箔検電器に負に帯電したエボナイト棒を近づけた場合、静電気力により左側の箔検電器に正の電荷が集まり正に帯電し、また右側は、左側の箔検電器は右側に正の電荷が移動したことで負の電荷に帯電する。その後、絶縁体を使って金属棒を取り除いてもその状態が保たれている。したがって、帯電したエボナイト棒を近づける場合、正に帯電した箔検電器では箔が閉じ、負に帯電した箔検電器では箔が開くことから、正解は②である。

問 9 図1のように、2つの磁極の間に導線を置き電流を流した。図2は、このときの導線のまわりの磁力線の様子を描いたものである。直線電流が受ける力の向きはどれか。最も適当なものを、図中の①～⑧の中から1つ選びなさい。 9

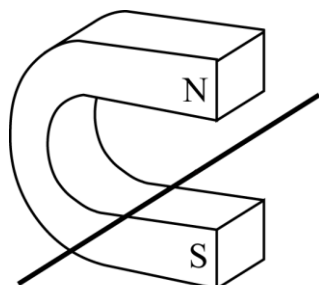


図1. 磁石と導線の配置

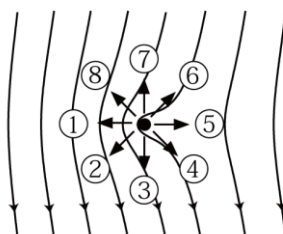


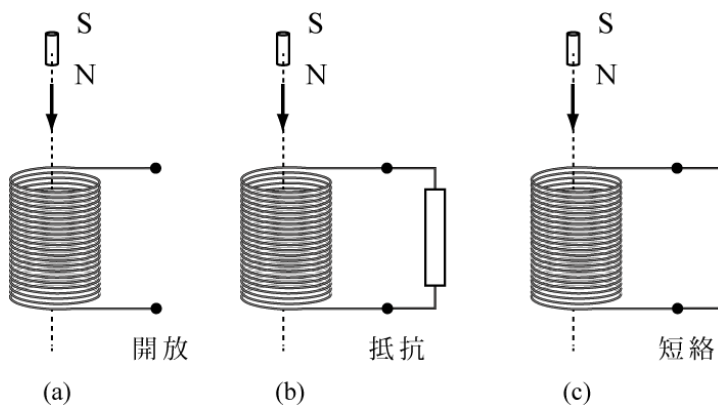
図2. 磁石と電流の作る磁場を合成した磁力線

解説（正解⑤）

電流の流れている導線の周りには電流によって磁場ができ、その大きさは導線から離れると弱くなる。またその磁力線は導線を囲む円形で、向きは電流の流れる方向と右ねじの法則で決まる。問題では、導線のまわりの磁場は電流と磁石の2つによって作られ、それぞれによって作られる磁場のベクトル和が、その場所の磁場となる。磁力線は磁場のベクトルをつないだものであり、図2から、左側は電流による磁場は下向き、右側は上向きと分かり、電流の流れている方向は紙面の裏側から表側となる。電流の流れている方向と磁場中で電流の受ける力の法則であるフレミングの左手の法則から、正解は⑤となる。

問 10 図のように、小さな磁石を同じ高さから、コイルの中心を通るように落とした。このとき、(a) はコイルの両端を開放、(b) は両端に抵抗を接続、(c) は両端を短絡してあった。磁石がコイルを通過する時間の大小について、最も適当なものを、①～⑥の中から1つ選びなさい。

10



- ① (a) > (b) > (c) ② (a) = (b) > (c) ③ (a) = (b) = (c)
 ④ (a) < (b) = (c) ⑤ (a) < (b) < (c) ⑥ (a) < (c) < (b)

解説（正解は⑤）

ファラデーの電磁誘導の法則として知られるように、磁石がコイルの中を通過するとコイルをつらぬく磁場(磁束密度)が変化して誘導起電力が発生する。また起電力の向きはコイル内の磁場の変化を妨げる向きである。図のように磁石が上から近づく場合を考えると、誘導起電力によって流れる電流の向きはコイル上部が N 極となり磁石の落下を妨げる。問題では、コイルの端子からの配線が異なる。電流は(c)の場合が最も大きく、磁石の落下が最も妨げられ、(a)の場合は電流が流れず、磁石の落下の妨げが起こらない。したがって正解は⑤となる。

問 11 現在、医療現場で用いられている装置にはさまざまな物理が利用されている。次の装置には、何が利用されているだろうか。

- (a) 肺の診断などに用いられるレントゲン撮影
- (b) 脳腫瘍の診断などに用いられる MRI
- (c) ガンの診断などに用いられる PET
- (d) 胎児の診断などに用いられるエコー検査

(a)～(d)に主として利用されている物理について、最も適当な組み合わせを、①～⑥の中から1つ選びなさい。

11

	(a) レントゲン撮影	(b) MRI	(c) PET	(d) エコー検査
①	X線	核磁気共鳴	ガンマ線	超音波
②	ガンマ線	X線	超音波	X線
③	X線	ガンマ線	ガンマ線	ガンマ線
④	X線	ガンマ線	X線	核磁気共鳴
⑤	ガンマ線	X線	超音波	ガンマ線
⑥	X線	核磁気共鳴	X線	超音波

解説（正解は①）

(a)のレントゲン撮影はX線が材料の種類によって透過する割合が異なることを利用する。(b)のMRIは原子核のまわりの環境により吸収する電磁波の周波数がことなることを利用する。なお、原子核が電磁波を吸収する現象を核磁気共鳴と呼ぶ。(c)のPETは少量の放射性薬剤を体内に取り込ませ、放出されるガンマ線を測定する。(d)のエコー検査は超音波の反射が組織のかたさにより異なるること、またセンサーからの距離により反射する時間がことなることを利用する。したがって正解は①である。

問 12 植物が光合成において吸収している光は主に赤色と青色である。波長 420 nm (青)の光子 1 個のエネルギーはいくらか。光速度を 3.0×10^8 m/s, 電気素量を 1.6×10^{-19} C, プランク定数を 6.6×10^{-34} J・s とする。最も適当なものを, 次の①~⑤の中から 1 つ選びなさい。

12

- ① 0.03 eV ② 0.3 eV ③ 3.0 eV ④ 30 eV ⑤ 300 eV

解説 (正解は③)

光子1個のエネルギーはプランク定数を h , 振動数を ν とすると $h\nu$ であり, 振動数を波長 λ と光速度 c で書き換えることで hc/λ である。数値を代入すると,
 6.6×10^{-34} J・s \times 3.0×10^8 m/s / 4.2×10^{-7} m = 4.7×10^{-19} J となる。エネルギーを eV の単位に直すために 1.6×10^{-19} C で割るとおよそ 3.0 eV となる。したがって正解は③である。

第2問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

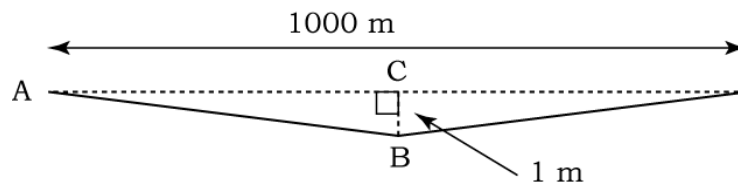
A

問1 岡山県の瀬戸大橋で行われた列車の負荷走行試験で、橋脚間距離がおよそ 1000 m ある橋の中央部が、列車の重みで 1 m 程度下がることが確認された。橋脚間の橋の構造物の伸びにより、このたわみが生じたとすると、橋脚間の橋の伸びはどの程度と考えられるか。ただし、 $\alpha \ll 1$ のとき、 $(1 + \alpha)^n \doteq 1 + n\alpha$ と近似できる。最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 **13**

- ① 2 mm ② 2 cm ③ 20 cm ④ 2 m

解説 (正解は①)

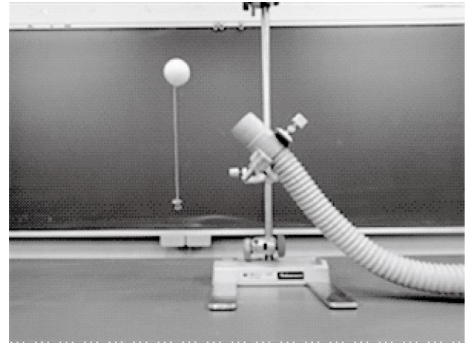
図のように三角形 ABC の辺 AB の長さは、三平方の定理より $\overline{AB} = \sqrt{\overline{AC}^2 + \overline{BC}^2}$ である。数値を代入し、問題で与えられた近似式を使うと $\overline{AB} = \{1 + (1/500)^2\}^{1/2} \times 500 \text{ m} = 500 \text{ m} + 0.001 \text{ m}$ となる。したがって正解は①となる。



B

問 2 流れの中に物体を置くと、物体には流れに平行な力(抗力)と、流れに垂直な力(揚力)がはたらく。流れの向きや物体の重さを調節することで物体を空中に浮かすことができる。

ピンポン玉に重りをぶら下げて全体の重力の大きさを $4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ として、上向き 45° の流れの中に置いたところ、ピンポン玉は空中に静止した。このとき、ピンポン玉にはたらく抗力が $2.8 \times 10^{-2} \text{ N}$ であった。ピンポン玉にはたらく揚力はいくらか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。

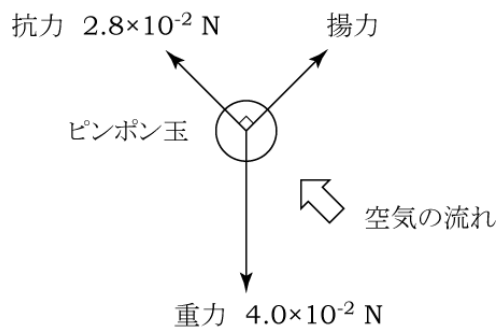


14

- ① $1.2 \times 10^{-2} \text{ N}$ ② $2.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ ③ $2.8 \times 10^{-2} \text{ N}$
④ $3.6 \times 10^{-2} \text{ N}$ ⑤ $4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$ ⑥ $5.2 \times 10^{-2} \text{ N}$

解説 (正解は③)

揚力は流れに対して垂直にはたらくこと、抗力は流れに対して平行にはたらくことを考えると、ピンポン玉にはたらく力は図のようになる。力の釣り合いから揚力の大きさは $2.8 \times 10^{-2} \text{ N}$ である。したがって正解は③である。



第3問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

A

問1 図1のようなピストン付きシリンダーに空気を入れたものがある。時刻 $t = 0$ にピストンを急激に押し込み、中の空気を圧縮してそのまま体積を一定に保った。図2はそのときの圧力変化を示したものである。この圧力変化の理由を説明する文として、最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 15

- ① 圧縮は等温的で、圧力は圧縮直後に上昇するが、吸熱量と放熱量が等しいので温度が変わらず、すぐに下がって一定となる。
- ② 圧縮は等温的で、圧力は圧縮直後に上昇するが、吸熱も放熱も起こらないので温度が変わらず、すぐに下がって一定となる。
- ③ 圧縮は断熱的で、圧縮直後は圧力と温度ともに上昇する。その後、周囲に放熱して圧力と温度が共に下がって一定となる。
- ④ 圧縮は断熱的で、圧縮直後は圧力と温度がともに上昇する。放熱は起こらないので圧力はすぐに下がって一定になるが、温度は上昇したままである。



図1

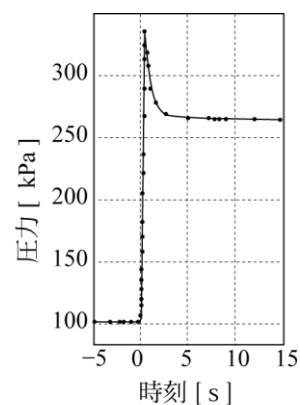


図2

解説 (正解は③)

シリンダーの内部と周囲で温度差があると熱が移動し内部と周囲は同じ温度となる。このためには十分な時間が必要である。ピストンを急激に押し込む時間では熱の移動は少なく、断熱的な圧縮となる。このときシリンダー内の空気の温度は外部より上昇する。その後、放熱して周囲と同じ温度となる。この温度の低下にともなって圧力も低下する。したがって正解は③である。

B

問2 水熱量計を用いると、金属の温度の降下と水温の上昇から金属の比熱を求めることができる。このとき金属と水以外の熱のやりとりはないとして計算する。しかし実際の実験では、熱量計と外の空気との熱のやりとりはある。熱量計の外に熱が移動したとき、金属の比熱は正しい値と比較してどのように計算されるか。ただし、測定を始めたときの水温は空気の温度と同じであったとする。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。 16

- ① 熱量計の外に熱が移動しないときと比べて、金属を水に入れたときの水温が上がらず、比熱は小さく計算される。
- ② 熱量計の外に熱が移動しないときと比べて、金属を水に入れたときの水温が上がらず、比熱は大きく計算される。
- ③ 熱量計の外に熱が移動しないときと比べて、金属を水に入れたときの水温が下がらず、比熱は小さく計算される。
- ④ 熱量計の外に熱が移動しないときと比べて、金属を水に入れたときの水温が下がらず、比熱は大きく計算される。
- ⑤ これだけの条件では、大きく計算されるか、小さく計算されるか分からない。

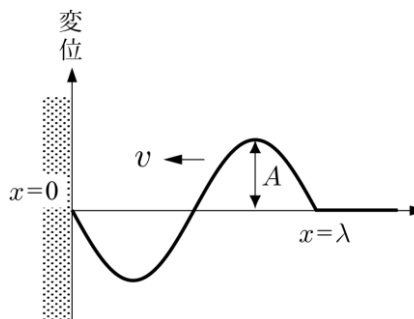
解説（正解は①）

熱量計の外に熱が移動することで、金属を水に入れたときの水温の上昇が抑えられる。温度上昇が少ないことは高温の金属から水に流れた熱が少ないと見なされ、金属の比熱が小さく評価されることを意味する。したがって正解は①である。

第4問 **A** (問1), **B** (問2) に答えなさい。

A

問1 図のように、振幅 A 、波長 λ の正弦波 1 波長分のパルス波が速さ v で左向きに進んでいる。位置 $x = 0$ の端点で、(a) 自由端反射をした場合と、(b) 固定端反射をした場合のそれぞれについて、ある位置で変位の最大値が $2A$ になるのは、図の状態からどれだけ時間が経過したときか。最も適当な組み合わせを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。



17

	①	②	③	④	⑤	⑥
(a) 自由端反射	$\frac{\lambda}{4v}$	$\frac{\lambda}{4v}$	$\frac{\lambda}{2v}$	$\frac{\lambda}{2v}$	$\frac{3\lambda}{4v}$	$\frac{3\lambda}{4v}$
(b) 固定端反射	$\frac{\lambda}{2v}$	$\frac{3\lambda}{4v}$	$\frac{\lambda}{4v}$	$\frac{3\lambda}{4v}$	$\frac{\lambda}{4v}$	$\frac{\lambda}{2v}$

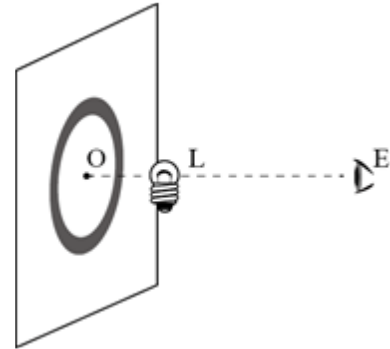
解説 (正解は⑥)

波が自由端で反射するときは、端点で入射波と反射波の変位は変わらず、波の山は反射して山となる。一方、波が固定端で反射するときは、端点で入射波と反射波の変位は符号を変え、波の山は反射して谷となる。自由端反射の場合は $3\lambda/4$ だけ進んだときに端点で変位が $2A$ となる。固定端反射の場合は $\lambda/2$ だけ進んだときに端点から $\lambda/4$ の位置で変位が $2A$ となる。したがって正解は⑥である。

B

問2 直径 0.10 mm の微小なアクリル球を、片面に隙間なく貼り付けた十分大きく平らなボードがある。ボードの面の中央に点 O をとり、そこから面に垂直方向に点 L, 点 E ($OL < OE$) をとる。点 L に豆電球を置き、点 E から点 O 方向を見たとき、ボードの手前には O を中心とした円環状の光の帯が一つ見えた。その様子を正しく表したものはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤の中から1つ選びなさい。

18



- ① 最も外側が紫で、最も内側が赤の虹色の帯になっているように見えた。
- ② 最も外側が赤で、最も内側が紫の虹色の帯になっているように見えた。
- ③ 最も外側と最も内側が紫で、帯の中央に向かって赤になる虹色の一つの帯になっているように見えた。
- ④ 最も外側と最も内側が赤で、帯の中央に向かって紫になる虹色の一つの帯になっているように見えた。
- ⑤ 最も外側から内側に向かって、青、緑、赤の3つの帯が並んで一つの帯になっているように見えた。

解説 (正解は②)

空気中から水滴に光が入射するとき、図1のように入射光からの角度として長波長の赤ではおよそ 42° 、短波長の紫ではおよそ 40° の方向に多くの光が向かうことが知られている。このことから空にかかる虹では外側の赤から内側に向かって橙、黄、緑、青、藍、紫と並ぶ。微小なアクリル球でも水滴と同様なことが起こる。アクリル球では図1に対応する角度は赤では 17° 、青では 14° である。

多くの光が向かう角度は、問題の設定では図2に示した点 L—(ボードの反射位置) 一点 E により作られる角度であり、赤 (θ_1) では 17° 、青 (θ_2) では 14° である。このように赤の角度が大きいから外側に、紫の角度が小さいから内側になる。したがって②が正解である。

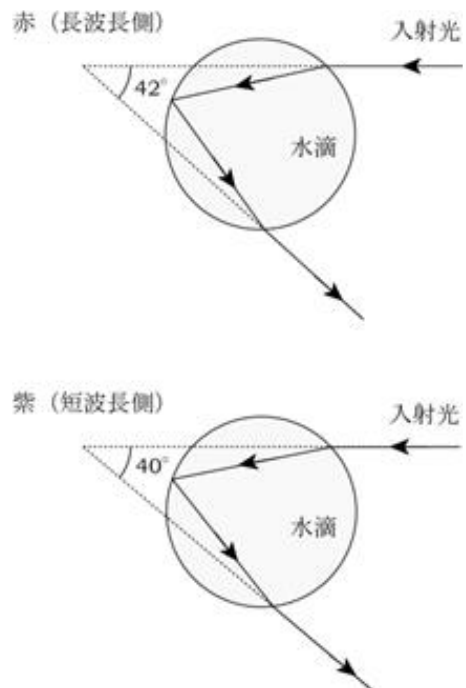


図1:水滴から多くの光が向かう方向の色による違い

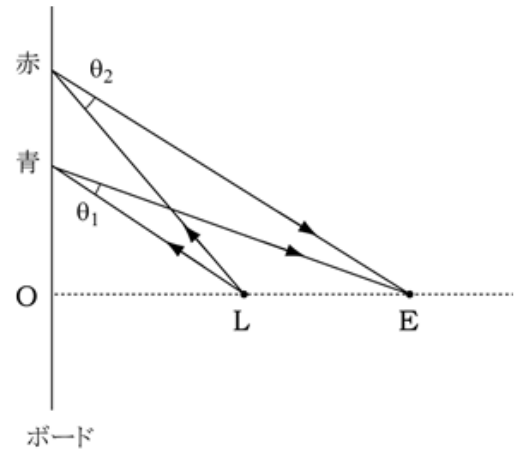


図2: 豆電球(L)と観察位置(E)から見たボード上の色の帯が見える位置関係。アクリル球では $\theta_1=17^\circ$, $\theta_2=14^\circ$ である。

なお, この現象の詳しい説明は以下の Web ページに掲載されている。
<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/niji.htm>

第5問 **A** (問1), **B** (問2, 3), **C** (問4), **D** (問5) に答えなさい。

A

問1 図1のような、起電力 E の電池に抵抗 R_1 と R_2 を直列につないだ回路と、図2のような R_2 と並列に抵抗 R_3 をつないだ回路がある。図2の回路では R_3 の抵抗値は R_2 の抵抗値より 1000 倍大きい。図1のBC間の電圧と図2のBC間の電圧の比較について、最も適当なものを、次の①～⑤から1つ選びなさい。

19

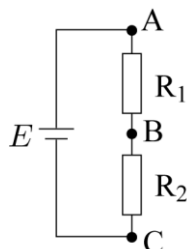


図1

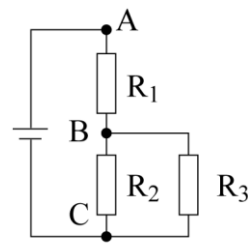


図2

- ① 電池から流れ出る電流は、図1でも図2でも同じである。 R_3 に流れ込む電流分だけ R_2 を流れる電流が小さくなるので、BC間の電圧は図2のほうが小さい。
- ② 図2のBC間の合成抵抗が R_2 に比べて小さくなるので、電池からの流れ出る電流は増えて、BC間の電圧は図1と同じになる。
- ③ 図2のBC間の合成抵抗が R_2 に比べて小さくなるので、電池からの流れ出る電流は増えて、BC間の電圧は図1より大きくなる。
- ④ R_3 に流れる電流は極めて小さいので、BC間の電圧は図1とほとんど変わらない。
- ⑤ 図2のBC間の合成抵抗が R_2 に比べて大きくなるので、電池からの流れ出る電流は減少して、BC間の電圧は図1と同じになる。

解説 (正解は④)

R_2 と R_3 の合成抵抗は R_2 の抵抗値より小さくなるので、電池からの流れ出る電流はわずかに増加する。一方、図1の R_2 と R_1 の抵抗値の比と、図2の R_2 と R_3 の合成抵抗と R_1 の抵抗の比を比較すると図2の値が小さく、図2のBC間の電圧は図1より小さくなる。しかし、 R_3 の抵抗値は R_2 の抵抗値より非常に大きいので、その変化は小さく図1とほとんど変わらない。したがって正解は④である。

B

等しい質量 m と電気量 q を持つ2つの点電荷 A と B がある。点電荷 A が十分に遠くから速度 v で、静止した点電荷 B に接近する。クーロンの法則の比例定数を k とし、次の各問いに答えなさい。ただし、重力や摩擦の影響はないとする。

問 2 点電荷 B が固定されている。このときの点電荷 A と B が最も接近するときの距離について、最も適当なものを、①～⑥の中から1つ選びなさい。 20

- ① $\frac{kq^2}{mv^2}$ ② $\frac{2kq^2}{mv^2}$ ③ $\frac{4kq^2}{mv^2}$ ④ $\sqrt{\frac{kq^2}{mv^2}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{2kq^2}{mv^2}}$ ⑥ $\sqrt{\frac{4kq^2}{mv^2}}$

問 3 点電荷 B は自由に動けるとする。このときの点電荷 A と B が最も接近するときの距離について、最も適当なものを、①～⑥の中から1つ選びなさい。 21

- ① $\frac{kq^2}{mv^2}$ ② $\frac{2kq^2}{mv^2}$ ③ $\frac{4kq^2}{mv^2}$ ④ $\sqrt{\frac{kq^2}{mv^2}}$ ⑤ $\sqrt{\frac{2kq^2}{mv^2}}$ ⑥ $\sqrt{\frac{4kq^2}{mv^2}}$

解説 (正解 20 は②, 21 は③)

2つの点電荷が最も近づく条件は、点電荷 A が点電荷 B とを結ぶ直線上で運動する場合である。B が固定されている条件で最も近づくときは A が折り返し点の位置で、速度が 0 となる。このときの距離を R_1 とすると、エネルギー保存則から

$$\frac{1}{2}mv^2 = k\frac{q^2}{R_1}$$

の関係が得られる。したがって正解は②である。一方、B は自由に動ける条件で最も近づくときは A と B が同じ速度で運動するときである。このときの距離を R_2 , その速度を V とすると、エネルギー保存則と運動量保存則から

$$\frac{1}{2}mv^2 = k\frac{q^2}{R_2} + 2 \times \frac{1}{2}mV^2$$

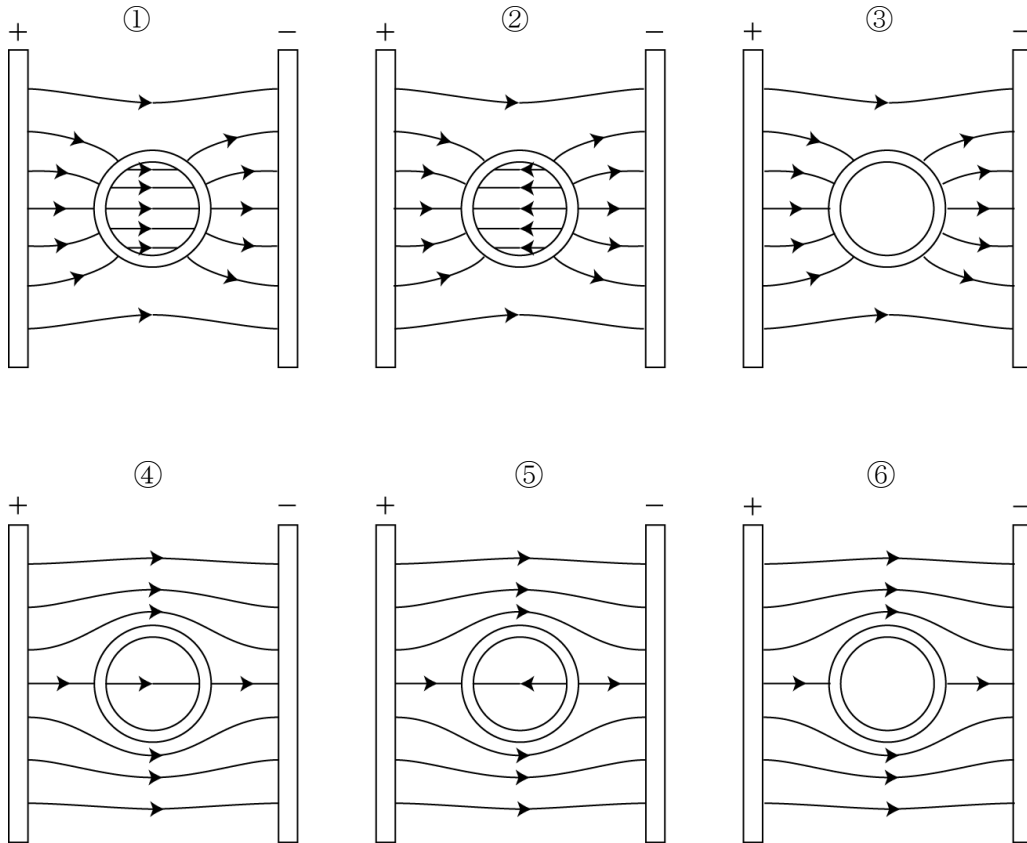
$$mv = mV + mV$$

の関係が得られる。したがって正解は③である。

C

問4 平行電極板の間に中空の帯電していない金属球を置いた。断面の電気力線の様子について、最も適当なものを、①～⑥の中から1つ選びなさい。

22



解説 (正解は③)

電気力線はその場所の電場の向きをつないだ曲線である。金属内部では静電場はない。このことより①, ②, ④, ⑤は正しくないことが分かる。また静電場中に金属を置くと静電誘導によって正極(左側)に近い表面には負電荷が、負極(右側)に近い表面には正電荷が現れる。このために電気力線は金属表面に引き込まれる。したがって正解は③である。

D

問 5 起電力と内部抵抗が不明な電池がある。これに抵抗を接続して流れる電流を測定した。50 Ω の抵抗を接続したときは 55 mA の電流が流れ、100 Ω の抵抗を接続したときは 28 mA の電流が流れた。起電力と内部抵抗の値の組み合わせとして、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 23

- ① 起電力は 3.0 V, 内部抵抗は 1.5 Ω ② 起電力は 3.0 V, 内部抵抗は 2.0 Ω
③ 起電力は 2.9 V, 内部抵抗は 1.5 Ω ④ 起電力は 2.9 V, 内部抵抗は 1.9 Ω
⑤ 起電力は 2.8 V, 内部抵抗は 1.4 Ω ⑥ 起電力は 2.8 V, 内部抵抗は 1.7 Ω

解説（正解は④）

起電力を V , 内部抵抗を r とすると, 問題文の条件より

$$V = 55 \text{ mA} \times (50 \Omega + r)$$

$$V = 28 \text{ mA} \times (100 \Omega + r)$$

が得られる。この2つの式を連立して解くことで、 $V = 2.9 \text{ V}$ と $r = 1.9 \Omega$ と求まる。したがって正解は χ である。

第6問 A (問1, 問2) に答えなさい。

A

1923年, コンプトンは, 短波長の光であるX線を物質に当てると, 散乱されたX線には振動数の低いX線が混ざることを見出した。この現象はX線は粒子(光子)であると考えerことで説明される。 h をプランク定数, c を光速として, 以下の説明の文章を読み, 次の各問いに答えなさい。

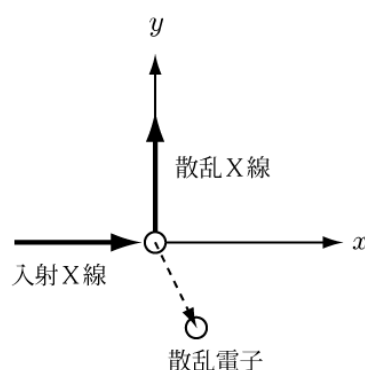
図のように, x 軸の負の方向から振動数 f のX線の光子が入射し, 静止している質量 m の電子に衝突する。衝突後, X線の光子は振動数 f' となり y 軸の方向へ散乱された。この現象ではエネルギーも運動量も保存される。エネルギー保存則は次の式となる。

$$hf = \frac{1}{2}mv^2 + hf' \quad (1)$$

また, 運動量保存則は次の式となる。

$$\frac{hf}{c} = mv_x \quad (2)$$

$$\text{[a]} = mv_y + \text{[b]} \quad (3)$$



ここで, (2)式と(3)式を使って(1)式から速さ v を消去すると

$$f - f' = \frac{h}{2mc^2}(f^2 + f'^2) \quad (4)$$

となる。 $f^2 + f'^2 = 2f^2$ と近似することで散乱されたX線は振動数が低くなるのが分かる。

問1 [a] と [b] に入る数式の最も適当な組み合わせを, 次の①~⑥の中から1つ選びなさい。 24

	①	②	③	④	⑤	⑥
(a)	$\frac{hf}{c}$	$\frac{hf}{c}$	$\frac{hf}{c}$	0	0	0
(b)	$\frac{hf'}{c}$	$\frac{-hf'}{c}$	0	$\frac{hf'}{c}$	$\frac{-hf'}{c}$	0

問2 入射X線の波長が 1.5 nm のとき, 散乱X線の振動数が入射X線に対して小さくなる割合 $(f - f')/f$ はいくらか。プランク定数を 6.6×10^{-34} J·s, 光速を 3.0×10^8 m/s, 電子の質量を 9.1×10^{-31} kg とする。最も適当なものを, 次の①~⑥の中から1つ選びなさい。 25

- ① 8.1×10^{-4} ② 1.6×10^{-3} ③ 8.1×10^{-3}
 ④ 0.016 ⑤ 0.081 ⑥ 0.16

解説（正解 24 は④， 25 は②）

光子と電子の衝突でも，通常の物体の衝突と同じように運動量保存が成り立ち，また，衝突のエネルギーは物体内部の分子の乱雑な運動にならないので，弾性衝突としてエネルギー保存則も成り立つ。問1は y 成分についての運動量保存である。衝突前は運動量の y 成分が 0 であること，光の運動量の大きさが hf/c （式(2)を参照）であることから，正解は④である。問2は式(4)とその後の説明から波長を λ として，

$$\frac{f' - f}{f} = \frac{hf}{mc^2} = \frac{h}{mc\lambda}$$

を得る。この式に数値を代入して 1.6×10^{-3} と求まる。したがって正解は②である。

第7問 A (問1, 問2) に答えなさい。

A

質量 m の惑星が質量 M の恒星の周りを公転する運動は、半径 r_0 の円軌道上を一定の速さ v_0 で運動する等速円運動とみなすことができ、運動方程式は、

$$\frac{mv_0^2}{r_0} = G \frac{mM}{r_0^2} \quad (1)$$

と表される。ここで G は万有引力定数である。したがって、公転速度は

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{r_0}} = \sqrt{GM} \times r_0^{-1/2} \quad (2)$$

となり、軌道半径の平方根の逆数 $r_0^{-1/2}$ に比例する。図1は太陽系の惑星について示したもので、(2)式が良く成り立っている。

太陽系が属する天の川銀河は、図2のように中心部の恒星が多く集まったバルジ、恒星が回転する円盤部、銀河全体を球状に包むハロー、その中に点在する球状星団からなる円盤銀河である。

これまでの観測から、銀河中心からの距離と恒星の回転の速さの関係が明らかになった。図3に、ある円盤銀河の銀河中心からの距離と回転の速さとの関係を示した。“観測値”は r_c より外側では距離によらずほぼ一定である。一方、“計算”は光学的方法で確認した恒星の質量を使った計算結果である。図を見て分かるように“観測値”と“計算”は一致しない。恒星の回転運動には光学的に観測できる星の質量だけでは不足であり、銀河ハローは銀河質量の90%を含んでいるに違いないとの結論が導かれた。ハロー内の目に見えない物質は「ダークマター」と言われる。

質量が球対象で分布するとき、恒星の回転の速さは、その半径より内側の球内の質量が銀河中心にあるとしたときの万有引力により決まる。中心からの距離 r までの平均密度を $\rho(r)$ と表すと、半径 r の球内の質量は $M(r) \propto \rho(r)r^3$ である。ここで、記号 \propto は比例の関係を表す。質量が球対象で分布するとして、以下の各問いに答えなさい。

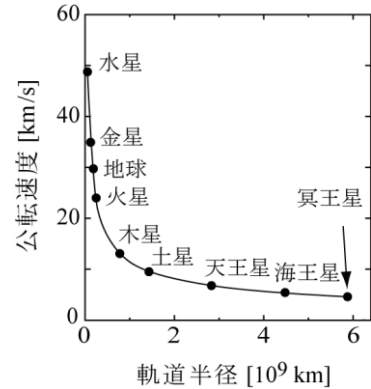


図1. 惑星の軌道半径と公転速度

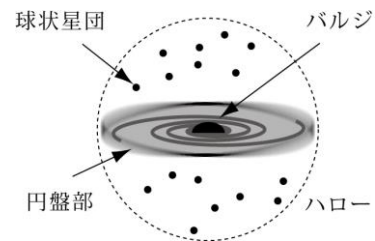


図2. 円盤銀河の構造

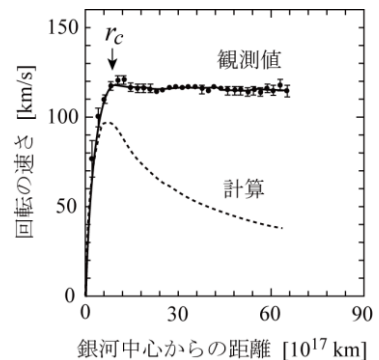


図3. 恒星の回転の速さ

問 1 図3の“観測値”のように回転の速度が一定となるときには、 r に対して ρ はどのように変化するか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 26

- ① $\rho \propto r^2$ ② $\rho \propto r^3$ ③ $\rho \propto r^4$
④ $\rho \propto r^{-2}$ ⑤ $\rho \propto r^{-3}$ ⑥ $\rho \propto r^{-4}$

問 2 回転の速度が一定となるときは、 r に対して M はどのように変化するか。最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 27

- ① $M \propto r$ ② $M \propto r^2$ ③ $M \propto r^3$
④ $M \propto r^{-1}$ ⑤ $M \propto r^{-2}$ ⑥ $M \propto r^{-3}$

解説 (正解 26は④, 27は①)

恒星の回転の速度は、問題文にあるように、その半径より内側の球内の質量が銀河中心にあるとしたときの万有引力により決まる。これより式(2)が利用できる。式(2)より $v \propto \sqrt{\rho(r)r^3} \times r^{1/2}$ が得られ v が一定であるためには、 $\rho \propto r^{-2}$ が必要であり、また、 $M(r) \propto \rho(r)r^3$ より $M \propto r$ となる。したがって正解は 26は④, 27は①である。

第8問 A (問1, 問2) に答えなさい。

A

気象観測衛星や通信・放送衛星は、赤道上の静止軌道に打ち上げられ、地球の自転と同じ角速度で地球の周りをまわっている。静止軌道は赤道上の円軌道で、静止軌道の衛星は地上からは空の1点に静止しているように見える。

ケプラーの法則によれば、一般に衛星の軌道は、地球の中心をひとつの焦点とした楕円軌道であるが、楕円軌道の半長軸が静止軌道の半径と等しければ、地上から観測すると衛星は一日の周期(23時間56分)で同じ空の場所に戻ってくる。以下、周期が1日で地球の自転と同じ向きに公転している衛星について、日本で南を向いて観測した場合に、衛星が空に描く軌跡の形と動く向きを考えてみる。次の各問いに答えなさい。

問1 赤道面にある楕円軌道の場合、衛星が空に描く軌跡の形と動く向きの日本からの見え方について、最も適当なものを、次の①～④の中から1つ選びなさい。 28

- ① 軌跡は南北につぶれた輪で、動く向きは軌跡の北側で東から西。
- ② 軌跡は南北につぶれた輪で、動く向きは軌跡の北側で西から東。
- ③ 軌跡は東西につぶれた輪で、動く向きは軌跡の北側で東から西。
- ④ 軌跡は東西につぶれた輪で、動く向きは軌跡の北側で西から東。

問2 準天頂衛星「みちびき」の軌道は赤道面と傾斜をもち、北側にもう一つの焦点をもつ楕円軌道である。この場合、衛星が空に描く軌跡の形と動く向きの日本からの見え方について、最も適当なものを、次の①～⑥の中から1つ選びなさい。 29

- ① 軌跡は南北にのびた8の字で、動く向きは軌跡の北側で東から西。
- ② 軌跡は南北にのびた8の字で、動く向きは軌跡の北側で西から東。
- ③ 軌跡は北側が膨らんだ8の字で、動く向きは軌跡の北側で東から西。
- ④ 軌跡は北側が膨らんだ8の字で、動く向きは軌跡の北側で西から東。
- ⑤ 軌跡は南側が膨らんだ8の字で、動く向きは軌跡の北側で東から西。
- ⑥ 軌跡は南側が膨らんだ8の字で、動く向きは軌跡の北側で西から東。

解説 (正解 28は①, 29は⑥)

図1に赤道面にある離心率0.40の楕円軌道の衛星を北極側から見た様子を示した。このときの軌道半径は地球半径の約6.5倍である。衛星の速さは地球に近づくと速く、遠ざかると遅い。日本から衛星を観測すると地球に近い位置では南側に、遠い位置では北側に衛星が観測される。また地球に近い位置では地球の自転の角速度より速く運動するので西から東向きに運動し、遠い位置では自転の角速度より遅く運動するので東から西向きに運動する。したがって正解 28は①である。なお、衛星の見え方を図2に示した。縦軸と横軸はそれぞれ天の子午線と赤道である。

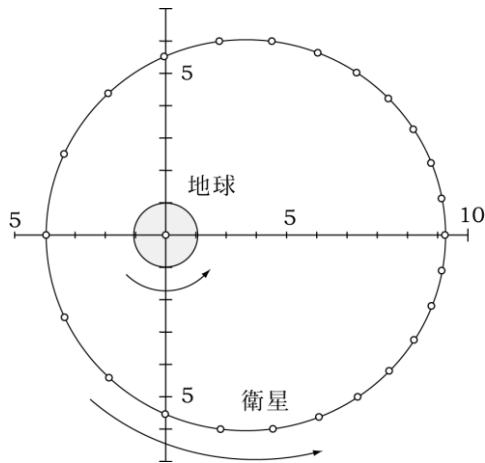


図1：北極側から見た衛星の軌道。丸は1時間ごとの衛星の位置を示している。

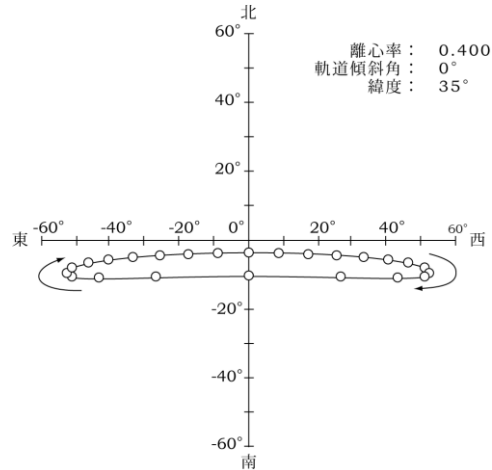


図2：空に描く衛星の軌道。丸は1時間ごとの衛星の位置を示している。

最後の問題は軌道面が赤道面に対して傾斜しており、北側に楕円のもう一つの焦点をもつ準天頂衛星「みちびき」の場合についてである。「みちびきは」北側に楕円のもう一つの焦点をもつことから、衛星が遠い位置では北側に、近い位置では南側に見える。「みちびきは」の離心率は大きくなく軌道は赤道面に対して傾斜していることから、北極側から軌道を(赤道面に投影して)みると図3のようにほぼ楕円に見える。この図から分かるように、衛星が南側と北側に見えるそれぞれcとaの位置では衛星の(赤道面に投影した)角速度は地球の自転より大きく、地上からは西から東に移動するよう見える。一方、bとdでは角速度は地球の自転より小さく、南北に傾いて東から西に移動するよう見える。したがって正解 **29** は⑥である。なお衛星の見え方を図4に示した。

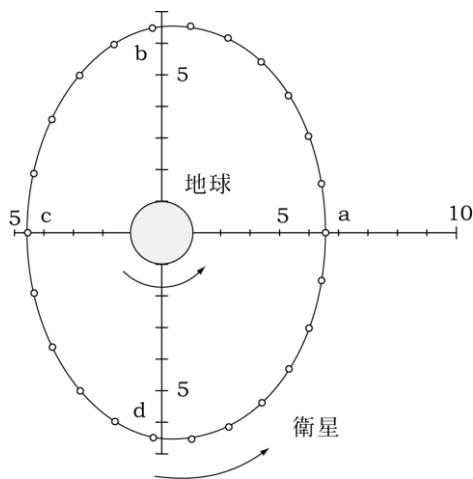


図3：北極側から見た衛星の軌道。丸は1時間ごとの衛星の位置を示している。

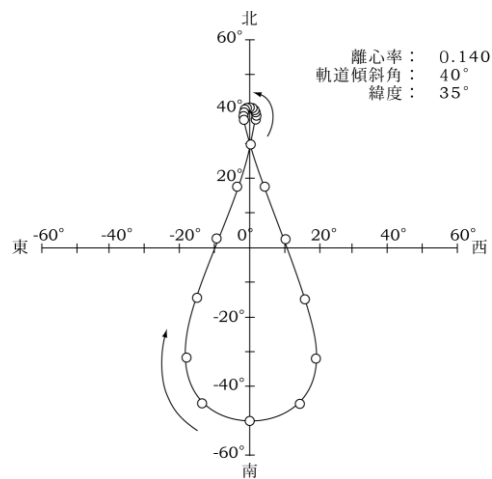


図4：空に描く準天頂衛星「みちびき」のおよその軌道。丸は1時間ごとの衛星の位置を示している。