

物 理

(解答番号 ~)

第 1 問 次の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 30)

問 1 図 1 のように、水平面内の直線上をなめらかに運動する質量 m_A の台車 A を、同じ直線上をなめらかに運動する質量 m_B の台車 B に追突させる。台車 A にはばねが取り付けられている。図 2 は、このときの台車 A、B の衝突前後の速度 v と時間 t の関係を表す $v-t$ グラフであり、速度の正の向きは図 1 の右向きである。次の文中の空欄 に入れる語句として最も適当なものを、直後の { } で囲んだ選択肢のうちから一つ選べ。ただし、台車 A、B の車輪とばねの質量は、無視できるものとする。

台車 A の質量と台車 B の質量の比 $\frac{m_A}{m_B}$ は、

- {
- ① 0.5 である。
 - ② 1.0 である。
 - ③ 1.5 である。
 - ④ 2.0 である。
 - ⑤ これだけでは定まらない。
- }

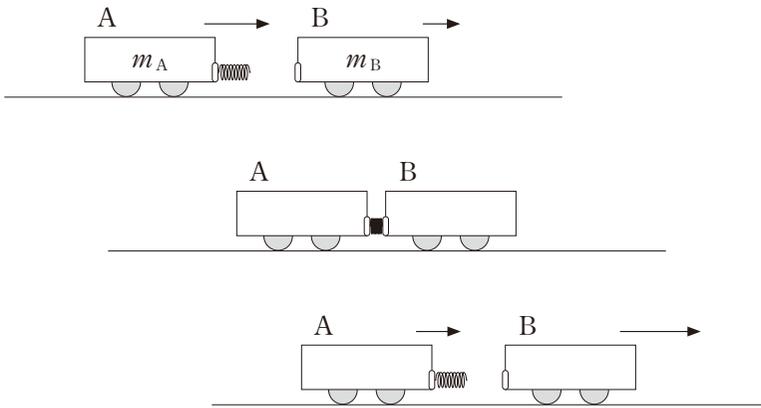


图 1

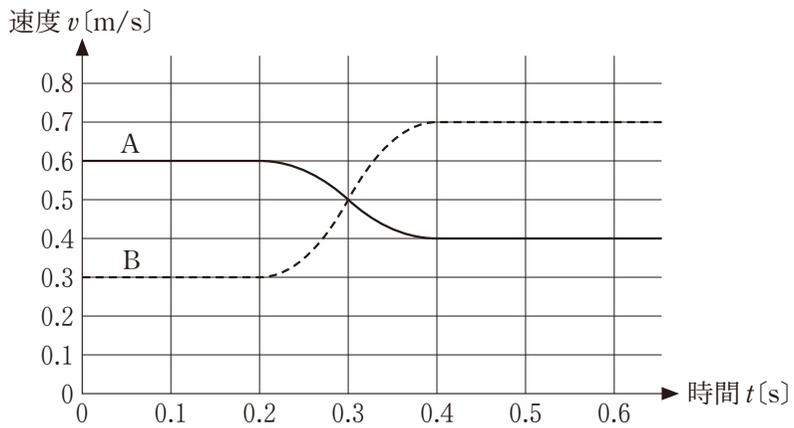


图 2

物 理

問 2 図 3 のように，斜面をもつ台をストッパーで水平な床に固定し，斜面上に質量 m の物体を置いたところ物体は静止した。

物体が斜面から受ける垂直抗力と静止摩擦力の合力の向きを表す矢印として最も適当なものを，後の①～⑧のうちから一つ選べ。 2

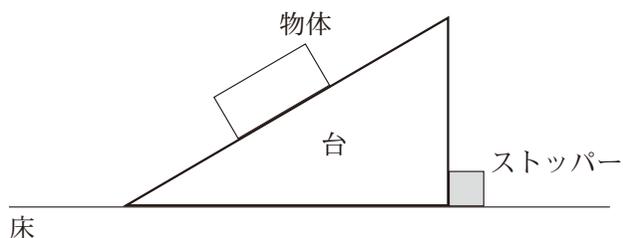
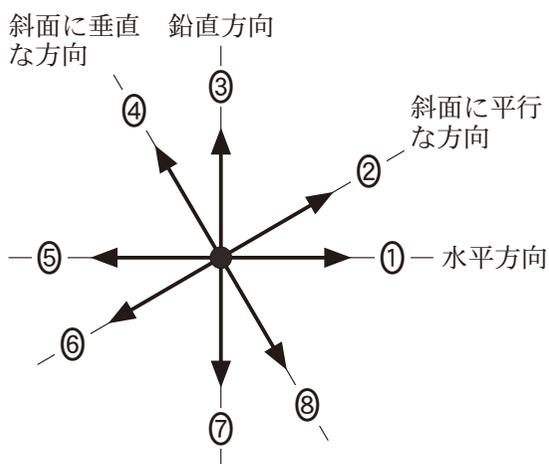


図 3



物 理

次に、斜面上に観測者を立たせてストッパーを外した後に、台を図4のように、右向きに大きさ a の加速度で動かしたところ、物体は斜面上をすべることなく台と一体となって運動した。次の文章の空欄 ア ・ イ に入れる語句の組合せとして最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

3

台とともに運動する観測者には、物体に水平方向 ア 向きに大きさ ma の慣性力がはたらいているように見える。また、物体が斜面から受ける静止摩擦力の大きさは、台が固定されていたときと比較して イ。

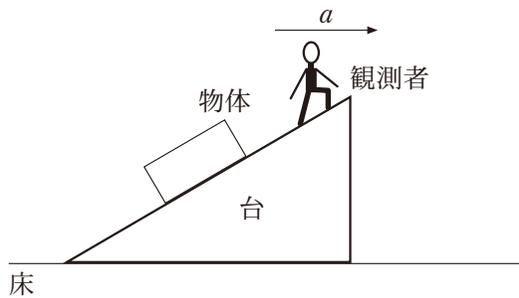


図 4

	①	②	③	④
ア	左	左	右	右
イ	増える	減る	増える	減る

物 理

問 3 図 5 のように、長さ L で太さが一樣な抵抗線 ab 、抵抗値が R_1 の抵抗 1、抵抗値が R_2 の抵抗 2、検流計 G 、直流電源、電流計を接続する。接点 c は、 ab 上を自由に移動できる。ここで、点 c を ab 上で動かし、検流計 G に電流が流れない点を見つけた。このときの ac 間の距離を x とした場合、 $\frac{R_1}{R_2}$ を表す式として正しいものを、後の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\frac{R_1}{R_2} = \boxed{4}$

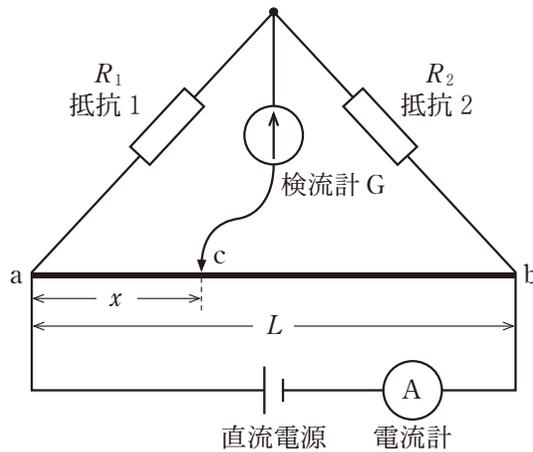


図 5

① $\frac{x}{L}$
④ $\frac{L}{x}$

② $\frac{x}{L-x}$
⑤ $\frac{L-x}{x}$

③ $\frac{x}{L+x}$
⑥ $\frac{L+x}{x}$

問 4 真空中で、図 6 のように、 xy 平面内の二つの灰色の領域に、磁束密度の大きさが B の一様な磁場(磁界)が、 xy 平面に垂直に、紙面の裏から表の向きにかけられている。質量 m 、電気量 $Q(Q > 0)$ の粒子が、中間の無色の領域から右の灰色の領域に垂直に入射すると、粒子は半円の軌跡を描いて右の灰色の領域を出て、中間の領域を直進して左の灰色の領域に垂直に入り、左側の磁場中でも半円を描く。中間の領域では粒子を加速するように電場(電界)をかける。これを繰り返し、粒子の速さが大きくなるにつれて、半円の半径 R と半円を描くのにかかる時間 T はどのように変化するか。変化の組合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。ただし、粒子は xy 平面内のみを光速より十分小さい速さで運動し、重力の影響と電磁波の放射は無視できるものとする。また、灰色の領域は、中間の領域を除いて無限に広がっているものとする。

5

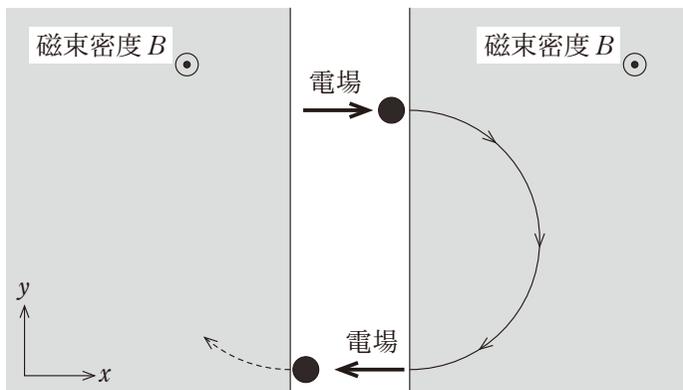


図 6

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
R の変化	減少	減少	減少	増加	増加	増加	一定	一定	一定
T の変化	減少	増加	一定	減少	増加	一定	減少	増加	一定

物 理

問 5 次の文章中の空欄 6 に入れる数値として正しいものを、次ページの①～④のうちから一つ選べ。

物理量は単なる数値ではなく、(数値)×(単位)である。たとえば、速度 v を表すとき「 $v = 36$ 」の表記は誤りで、「 $v = 36 \text{ km/h}$ 」などの表記が正しい。同じ量を表すとき、単位が違えば

$$36 \text{ km/h} = \frac{36 \times 1 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{36 \times 1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{36000 \times 1 \text{ m}}{3600 \times 1 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

のように数値は変わる。一方、初速度を v_0 、加速度を a 、時間を t としたときの等加速度直線運動における速度の式 $v = v_0 + at$ は、長さや時間の単位に何を使っても変わらない。

国際単位系 (SI) 以外に、質量と長さについて、g(グラム)と cm(センチメートル)を基本単位とする cgs 単位系と呼ばれるものがある。表 1 は国際単位系 (SI) と cgs 単位系における基本単位の一部である。

表 1 基本単位

	質 量	長 さ	時 間
国際単位系 (SI)	kg(キログラム)	m(メートル)	s(秒)
cgs 単位系	g(グラム)	cm(センチメートル)	s(秒)

以下では運動量の単位について考える。表1の二つの単位系では、運動量の大きさ p は

$$p = \overbrace{\text{数值(SI)}} \times \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \overbrace{\text{数值(cgs)}} \times \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}}$$

のように表現される。

$$1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \boxed{6} \times 1 \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}}$$

であることから

$$\boxed{\text{数值(SI)}} \times \boxed{6} = \boxed{\text{数值(cgs)}}$$

が成り立つ。

- ① 10^1 ② 10^2 ③ 10^3 ④ 10^4 ⑤ 10^5
 ⑥ 10^{-1} ⑦ 10^{-2} ⑧ 10^{-3} ⑨ 10^{-4} ⑩ 10^{-5}

物 理

第 2 問 次の文章を読み、後の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 25)

振動数 f_0 の十分大きな音を出す音源を用意する。密閉された箱内部に質量 m の物体が糸でつるされている装置に、この音源またはマイクロフォン(マイク)を取り付けて、図 1 のように、上空から初速度 0 で鉛直下方に落下させる。装置は図の姿勢を保ったまま落下するものとし、装置の落下の向きを正とする。また、重力加速度の大きさを g 、物体を含む装置全体の質量を M 、音速を V と表す。ただし、風などの影響はないものとする。

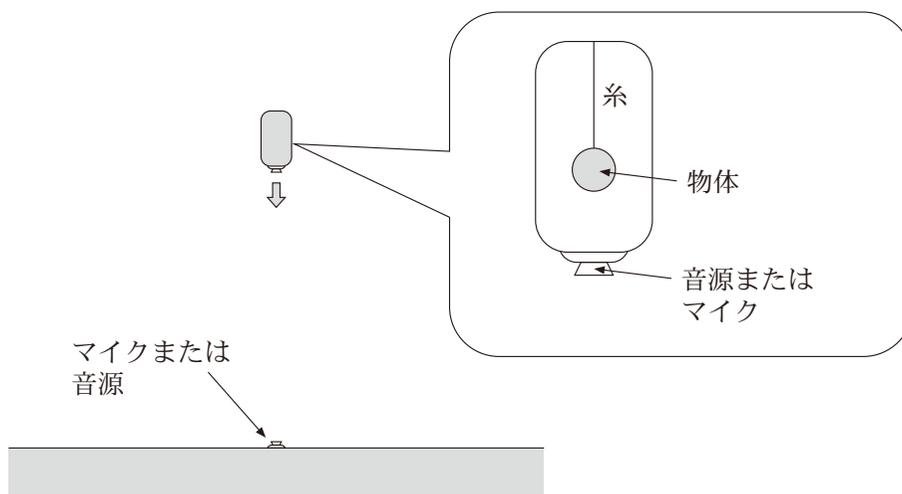


図 1

- 問 1 十分な高さからこの装置を落下させると、その運動に空気の抵抗力の影響が次第に現れてくる。この抵抗力 F_R は装置の落下速度 v に比例し、比例定数 k ($k > 0$) を用いて、

$$F_R = -kv$$

であるとして考えよう。さて、落下開始後しばらくすると、装置の落下速度は大きさ v' の終端速度に達し、一定となる。この v' 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。 $v' =$

- ① $\frac{Mg}{k}$ ② $\frac{Mk}{g}$ ③ $\frac{k}{Mg}$ ④ Mgk
 ⑤ $\frac{2Mg}{k}$ ⑥ $\frac{2Mk}{g}$ ⑦ $\frac{2k}{Mg}$ ⑧ $2Mgk$

- 問 2 落下中の糸の張力の大きさを記述する文として最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。

- ① 常に mg である。
 ② 落下前は mg であるが、落下を開始すると徐々に小さくなり、終端速度に達すると 0 になる。
 ③ 落下前は mg であるが、落下を開始すると徐々に小さくなるがまた増加し、終端速度に達すると mg に戻る。
 ④ 落下前は mg であるが、落下を開始すると同時に 0 になり、その値を保つ。
 ⑤ 落下前は mg であるが、落下を開始すると同時に 0 になり、その後徐々に増加し、終端速度に達すると mg に戻る。

物 理

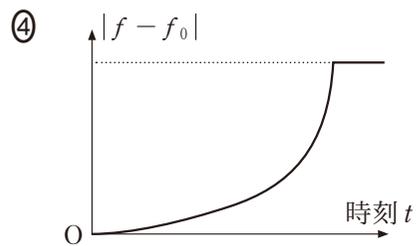
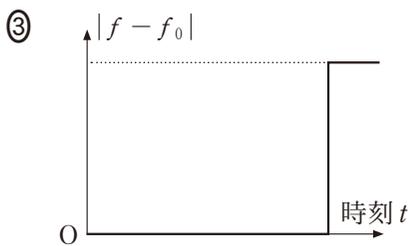
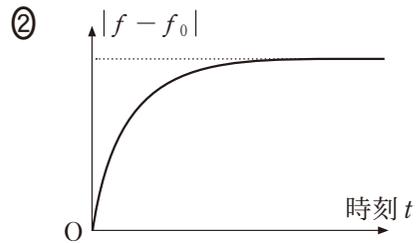
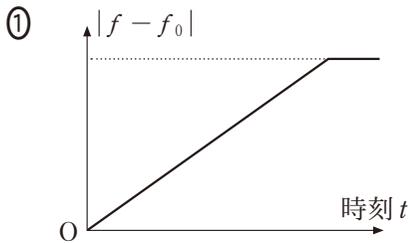
問 3 装置に音源を，地上にマイクを設置した場合，落下開始後しばらくして装置が終端速度(大きさ v')に達した。その後に音源を出た音がマイクに届いたときの振動数 f_1 を表す式として正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $f_1 = \boxed{9}$

- ① $\frac{V+v'}{V}f_0$ ② $\frac{V}{V+v'}f_0$ ③ $\frac{V+v'}{V-v'}f_0$
④ $\frac{V-v'}{V}f_0$ ⑤ $\frac{V}{V-v'}f_0$ ⑥ $\frac{V-v'}{V+v'}f_0$

問 4 逆に，装置にマイクを，地上に音源を設置して落下させた。落下開始後しばらくして装置が終端速度(大きさ v')に達した後，マイクに届いた音の振動数 f_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。 $f_2 = \boxed{10}$

- ① $\frac{V+v'}{V}f_0$ ② $\frac{V}{V+v'}f_0$ ③ $\frac{V+v'}{V-v'}f_0$
④ $\frac{V-v'}{V}f_0$ ⑤ $\frac{V}{V-v'}f_0$ ⑥ $\frac{V-v'}{V+v'}f_0$

問 5 問 4 のようにマイクがついた装置を時刻 $t = 0$ に落下させる場合，装置の速度は徐々に変化して終端速度に達する。マイクに届いた音の振動数 f と f_0 の差の絶対値 $|f - f_0|$ を，時刻 t を横軸にとって表したグラフの概形として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。 11



物 理

第3問 ゴムの物理現象について、これまで学習した熱力学の法則を応用して考えることができる。次の文章を読み、後の問い(問1～4)に答えよ。(配点 25)

ゴムひもを引っ張ったときの、ゴムひもの長さ x と張力 f の変化を測定したところ、図1と図2の結果が得られた。図1の実験では、ゴムひもをゆっくり時間をかけて引っ張りながら測定を行ったが、図2の実験では、すばやく引っ張って測定を行った。

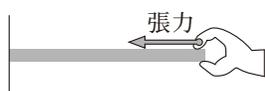
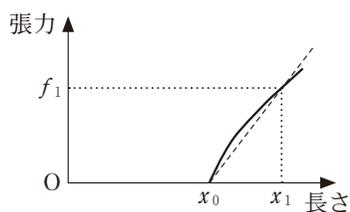


図1 ゴムひもをゆっくり引っ張った場合

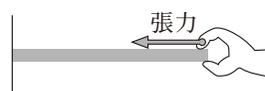
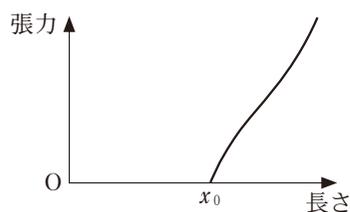


図2 ゴムひもをすばやく引っ張った場合

問1 図1の実験結果から、この実験で用いたゴムひもは、ゆっくり引っ張って自然の長さ x_0 より長くなっているときは、自然の長さからの伸びと力がほぼ比例するという、図1の破線で示したような、ばねの性質と似た関係がおおまかに成り立つことがわかる。このように、ゴムひもをばねと見なした場合の、ばね定数の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。

12

① $\frac{f_1}{x_0}$

② $\frac{f_1}{x_1}$

③ $\frac{f_1}{x_1 - x_0}$

④ $\frac{x_0}{f_1}$

⑤ $\frac{x_1}{f_1}$

⑥ $\frac{x_1 - x_0}{f_1}$

ゴムの温度が常に室温と等しくなるようにゆっくり伸び縮みさせたときは、ゴムが等温変化していると考えることができる。また、ゴムひもをすばやく伸ばしたときは、ゴムと周囲との間に熱が移動する時間がないため断熱変化だと考えることができ、気体を断熱圧縮したときに温度が上がるように、ゴムの温度が上がる。このようにゴムの伸び・縮みを、気体の圧縮・膨張に対応させることができる。気体は理想気体であるものとして、熱力学の法則を応用してゴムの伸び・縮みを考えていこう。

問 2 気体の膨張について復習しよう。図 3 と図 4 は、それぞれ、シリンダーとなめらかに動くピストンで閉じ込められた気体の等温変化と断熱変化における体積と圧力の変化のグラフである。なお、図中の矢印は、気体がピストンを押す力を示す。

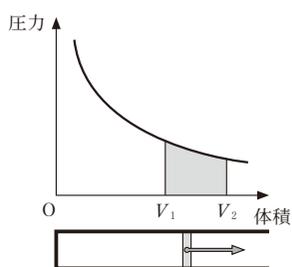


図 3 気体の等温変化

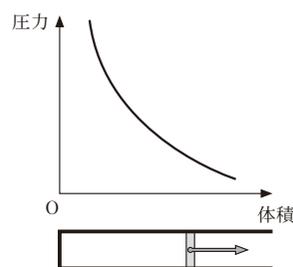


図 4 気体の断熱変化

図 3 のグラフの灰色に塗った部分の面積は、次の(イ)～(ニ)のうちどれに対応するか。正しいものをすべて選び出した組合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。 13

- (イ) 気体の体積が V_1 から V_2 へと変化する間に気体がする仕事
- (ロ) 気体の体積が V_1 から V_2 へと変化する間に気体がされる仕事
- (ハ) 気体の体積が V_1 から V_2 へと変化する間に気体が放出する熱量
- (ニ) 気体の体積が V_1 から V_2 へと変化する間に気体が吸収する熱量

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| ① (イ) | ② (ロ) | ③ (ハ) |
| ④ (ニ) | ⑤ (イ)と(ハ) | ⑥ (イ)と(ニ) |
| ⑦ (ロ)と(ハ) | ⑧ (ロ)と(ニ) | ⑨ 該当なし |

物 理

問 3 気体を 2 種類の方法で圧縮するグラフを描くと、以下の図のようになる。

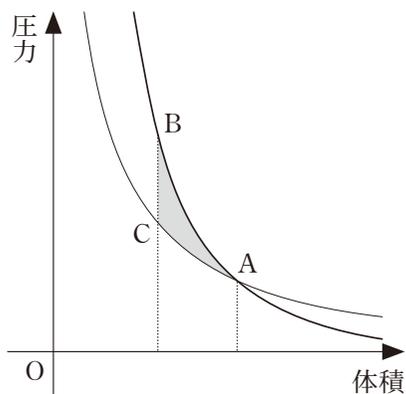


図 5 気体の状態の変化

図 5 で、温度が室温である最初の状態 A から断熱変化させたのが状態 B、状態 A から等温変化させて状態 B と同じ体積にしたのが状態 C である。状態 B でピストンを固定して周囲と熱のやりとりができるようにすると、気体の温度が室温と同じ状態 C になるという定積過程を考えることができる。三つの過程 (A→B, B→C, A→C) における気体の内部エネルギーの変化、気体が吸収する熱量、気体がされる仕事を、表 1 のように表すことにしよう。

表 1

	A→B	B→C	A→C
気体の内部エネルギーの変化	ΔU_{AB}	ΔU_{BC}	ΔU_{AC}
気体が吸収する熱量	Q_{AB}	Q_{BC}	Q_{AC}
気体がされる仕事	W_{AB}	W_{BC}	W_{AC}

表 1 には 9 個の量が書いてあるが、0 になる量を「0」に書き直し、それ以外を空欄としたとき、最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

14

①

A→B	B→C	A→C
0		
	0	
		0

②

A→B	B→C	A→C
0		
		0
	0	

③

A→B	B→C	A→C
	0	
0		
		0

④

A→B	B→C	A→C
		0
0		
	0	

⑤

A→B	B→C	A→C
	0	
		0
0		

⑥

A→B	B→C	A→C
		0
	0	
0		

物 理

問 4 次の文章内の空欄 15 ・ 16 にあてはまるものとして、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。

ゴムひもの長さや張力について、グラフを描くと図 6 のようになる。

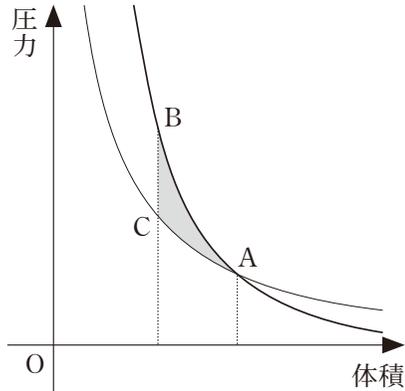


図 5 (再掲) 気体の状態の変化

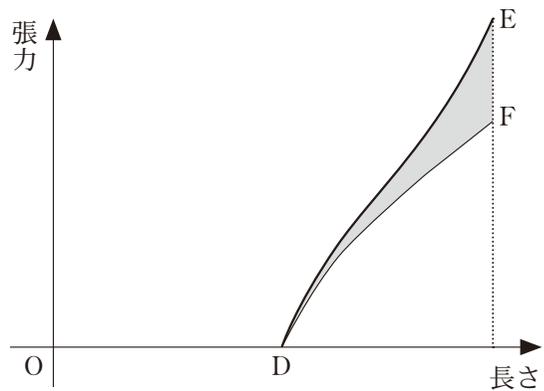


図 6 ゴムの状態の変化

図 6 には、ゴムの最初の状態 D、状態 D から状態 E まですばやく伸ばした結果のグラフ、状態 D から状態 F までゆっくり伸ばした結果のグラフが描かれている。すばやく伸ばした D→E が断熱変化に、ゆっくり伸ばした D→F が等温変化に対応する。

図 5 の A→B (または図 6 の D→E) の断熱変化と、A→C (または図 6 の D→F) の等温変化を比べると、どちらも気体やゴムが外から正の仕事をされるが、

- | | | | | |
|----|---|--|---|--------|
| 15 | { | <ul style="list-style-type: none"> ① 気体もゴムも断熱変化の方が ② 気体は断熱変化の方が、ゴムは等温変化の方が ③ 気体は等温変化の方が、ゴムは断熱変化の方が ④ 気体もゴムも等温変化の方が | } | 強い力が必要 |
|----|---|--|---|--------|

で、外からされる仕事も大きくなる。

$A \rightarrow C$ (または $D \rightarrow F$) の逆の変化 $C \rightarrow A$ (または $F \rightarrow D$) を考えると、
 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ (または $D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D$) のようなサイクルを作ることができる。
 サイクルを一周する間に気体やゴムがされる仕事の総和は、

$$\boxed{16} \left\{ \begin{array}{l} \textcircled{1} \text{ 気体の場合は正, ゴムの場合も正} \\ \textcircled{2} \text{ 気体の場合は正, ゴムの場合は負} \\ \textcircled{3} \text{ 気体の場合は負, ゴムの場合は正} \\ \textcircled{4} \text{ 気体の場合は負, ゴムの場合も負} \end{array} \right\} \text{になる。}$$

物 理

第 4 問 次の文章(A・B)を読み、後の問い(問 1～4)に答えよ。(配点 20)

A 結晶の規則正しく配列した原子配列面(格子面)に X 線を入射させると、X 線は何層にもわたる格子面の原子によって散乱される。このとき、X 線の波長がある条件を満たせば、散乱された X 線が互いに干渉し強め合う。まず一つの格子面を構成する多くの原子で散乱される X 線に注目すると、反射の法則を満たす方向に進む X 線どうしは、強め合う。これを反射 X 線という。また、隣り合う格子面における反射 X 線が同位相であれば、それぞれの格子面で反射される X 線は強め合う。図 1 は、間隔 d の隣り合う格子面に角度 θ で入射した波長 λ の X 線が、格子面上の原子によって同じ角度 θ の方向に反射された場合を示している。

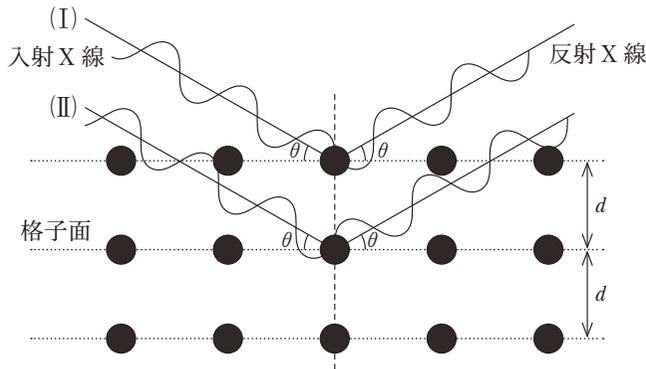


図 1

問 1 次の文章中の空欄 ・ に入れる数式として正しいものを、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。

図 1 の 2 層目の格子面で反射される(II)の X 線は、1 層目の格子面で反射される(I)の X 線より

{ ① $d \sin \theta$ ② $2 d \sin \theta$ ③ $d \cos \theta$ ④ $2 d \cos \theta$ }

だけ経路が長い。この経路差が

{ ① $\frac{\lambda}{4}$ ② $\frac{\lambda}{2}$ ③ $\frac{3\lambda}{4}$ ④ λ ⑤ $\frac{5\lambda}{4}$ ⑥ $\frac{3\lambda}{2}$ }

の整数倍のときに常に強め合う。

物 理

B 図2のようにX線管のフィラメント(陰極)・陽極間に高電圧を加え、陰極で発生した電子を陽極の金属に衝突させるとX線が発生する。図3は、陽極にモリブデンを用いた場合の、各電圧ごとに発生したX線の強度と波長の関係(X線スペクトル)を示している。たとえば、両極間の電圧が35 kVの場合には、図のC点を最短波長とする連続スペクトルが得られた。また、連続的なスペクトルの中に鋭い二つのピーク(a), (b)も観測され、このピークの波長は電圧によらない。

図3の結果を見たPさんとQさんが会話を始めた。ここで、プランク定数を h 、光速を c とする。ただし、PさんとQさんの会話の内容は間違っていない。

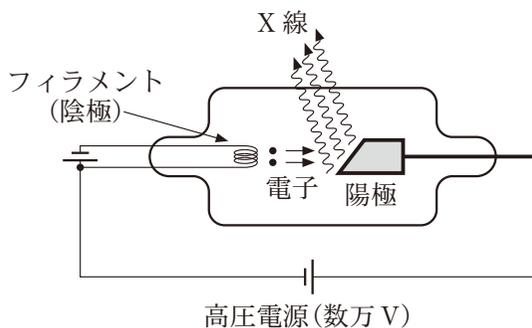


図 2

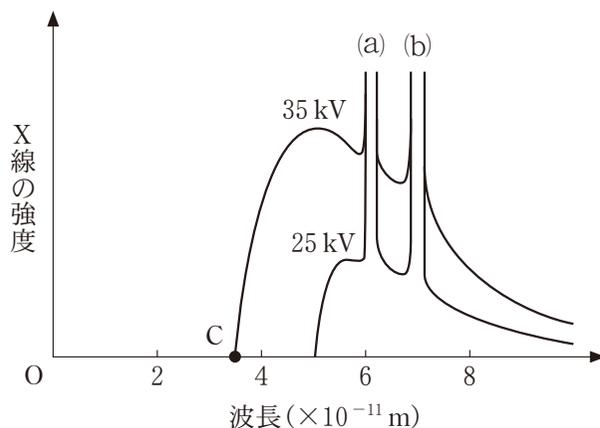


図 3

問 2 空欄 ・ に入れる語の組合せとして最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

Pさん：図3を見ると、両極間の電圧が35 kVの場合、X線のスペクトルはC点の波長 3.5×10^{-11} m から始まっているね。陰極から出た電子を電圧 V で加速すると、電気量 $-e$ の電子は陽極に達したときに eV の大きさの運動エネルギーを得る。この電子が陽極の金属と衝突し、運動エネルギーのすべてが1個のX線の光子のエネルギーに変わると、最短波長のX線が発生すると考えられるよ。

Qさん：それなら、電子とX線の光子の の保存則からX線の最短波長を求めることができるね。また、出てきたX線の波長がそれより長いときは、主に陽極の金属を構成する原子(陽極原子)の熱運動のエネルギーが していると考えられるね。

	①	②	③	④
ア	運動量	運動量	エネルギー	エネルギー
イ	増加	減少	増加	減少

物 理

問 3 空欄 ・ に入れる式と語の組合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。

Pさん：X線の最短波長は と求められる。両極間の電圧を 50 kV にすると、X線の最短波長はC点の波長より なるね。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ウ	$\frac{eV}{hc}$	$\frac{eV}{hc}$	$\frac{hc}{eV}$	$\frac{hc}{eV}$	$\frac{h}{cV}$	$\frac{h}{cV}$
エ	長 <	短 <	長 <	短 <	長 <	短 <

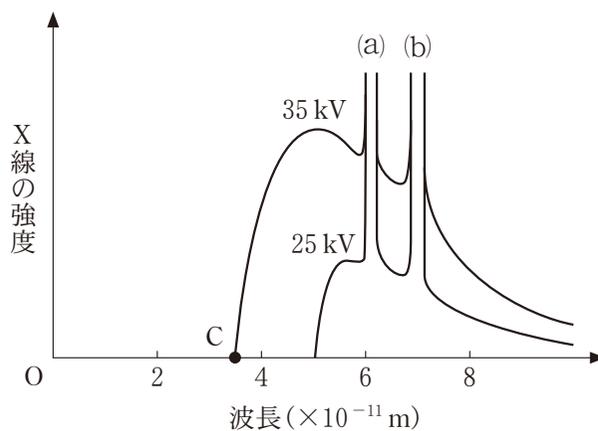


図 3 (再掲)

問 4 空欄 ・ に入れる記号と語の組合せとして最も適当なものを、後の①～④のうちから一つ選べ。

Qさん：図3を見ると、二つの鋭いピークの波長は、電圧を変えてもまったく変化していない。二つのピーク(a), (b)のうち、X線の光子のエネルギーが小さいのは の方だね。これらの二つのピークが現れるのは何に関係しているんだろう。

Pさん：陽極金属の種類を変えてみよう。そのとき、X線のピークの波長は変化することがわかっている。つまり、このX線のピークは陽極金属の特性に関係するようだね。では、両極間の電圧が35 kVのとき、最短波長は図3のC点と比べてどうなるだろうか。

Qさん：最短波長は変化 はずだよ。

	①	②	③	④
オ	(a)	(a)	(b)	(b)
カ	しない	する	しない	する