

2011年度

C_b 物 理 問 題

注 意

1. 試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙はすべてHBの黒鉛筆またはHBの黒のシャープペンシルで記入することになっています。HBの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
3. この問題冊子は16ページまでとなっています。試験開始後、ただちにページ数を確認してください。なお、問題番号はI～IVとなっています。
4. 解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので、出席票の受験番号が、あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し、出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお、出席票は切り離さないでください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し、その他の部分には何も書いてはいけません。
6. 解答用紙を折り曲げたり、破ったり、傷つけたりしないように注意してください。
7. 計算には、この問題冊子の余白部分を使ってください。
8. この問題冊子は持ち帰ってください。

マーク・センス法についての注意

マーク・センス法とは、鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。

1. マークは、下記の記入例のようにHBの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2. 1つのマーク欄には1つしかマークしてはいけません。
3. 訂正する場合は消しゴムでよく消し、消しきらずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例：

A	1	2	3	4	5
	○	○	●	○	○

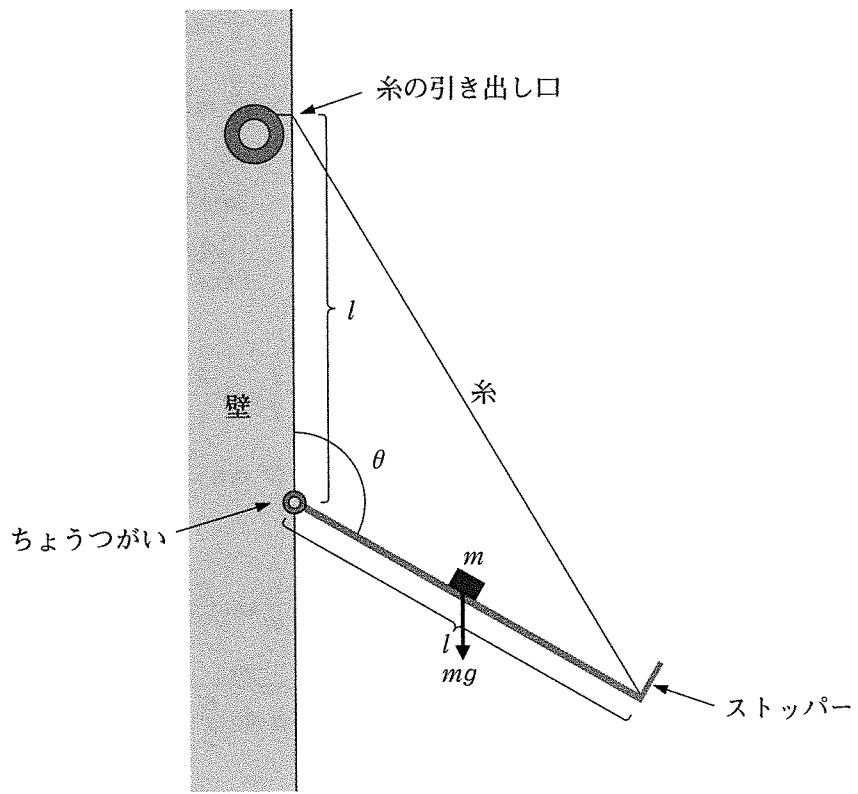
 (3と解答する場合)

I. 次の文の空所 ～ にあてはまる数式を、それぞれ対応する a ～ h から 1 つずつ選び、その記号を解答用紙の所定欄にマークせよ。ただし、重力加速度を g とする。

図のように鉛直な壁に滑らかなちょうつがいで長さ l の質量の無視できる硬い板を取り付けた。壁のちょうつがいの位置より高さ l の位置から質量の無視できる糸を引き出し、板の他端につなぎ、糸の長さを変えることで板を適当な角度に調整できるようにした。板の真ん中に質量 m の小さな箱を置いた。板の鉛直上方から開き角が θ ($\theta > 90^\circ$) の時、板は傾いているが小さな箱は摩擦で滑らず、真ん中に静止したままであった。この時、小さな箱には mg の重力が働いている。この重力が及ぼすちょうつがいのまわりの力のモーメントの大きさは である。一方、糸の張力を T とすると、糸の張力が及ぼすちょうつがいのまわりの力のモーメントの大きさは である。これら 2 つの力のモーメントは釣り合っているので、糸の張力 T の大きさは であることが分かる。

さて、壁からの糸を伸ばして、開き角をだんだん大きくしていくと、 $\theta = \theta_0$ ($90^\circ < \theta_0 < 180^\circ$) の時に、小さな箱は滑り始めた。その直後からは、開き角を θ_0 に固定した。板と小さな箱との間の静止摩擦係数を μ_0 とすると、滑り出す直前に働いていた摩擦力の大きさは である。従って、静止摩擦係数を滑り始めた角度 θ_0 を使って表すと、 $\mu_0 =$ となる。小さな箱は滑り始めた後も摩擦を受け続ける。板と小さな箱との間の動摩擦係数は滑る速度によらずに一定で、 μ とする。小さな箱の滑る方向への加速度の大きさは である。板の端には厚さと質量の無視できるストッパーが設けられており、小さな箱はそのストッパーに衝突して板の端に止まった。衝突する直前の小さな箱の速さは である。なお、糸は小さな箱の動きを妨げないようにつないである。

小さな箱が、板の端に止まっている時に、ちょうつがいの場所で壁に働いている力の大きさは、鉛直方向には , 壁に垂直な方向 (水平方向) には である。



図

イ	a. $\frac{l}{2} mg \sin \theta$	b. $-\frac{l}{2} mg \cos \theta$
	c. $\frac{2}{l} mg \sin \theta$	d. $-\frac{2}{l} mg \cos \theta$
	e. $-\frac{l}{2mg} \sin (2\theta)$	f. $-\frac{l}{2mg} \cos \theta$
	g. $\frac{2mg}{l \sin \theta}$	h. $-\frac{2mg}{l \cos \theta}$

ロ	a. $\frac{T}{l} \cos \frac{\theta}{2}$	b. $\frac{T}{l} \sin \frac{\theta}{2}$	c. $\frac{l}{T} \cos \frac{\theta}{2}$	d. $\frac{l}{T} \sin \frac{\theta}{2}$
	e. $\frac{T}{l \cos \frac{\theta}{2}}$	f. $\frac{T}{l \sin \frac{\theta}{2}}$	g. $lT \cos \frac{\theta}{2}$	h. $lT \sin \frac{\theta}{2}$

ハ	a. $mg \sin \frac{\theta}{2}$	b. $mg \cos \frac{\theta}{2}$	c. $\frac{g}{m} \sin \frac{\theta}{2}$	d. $\frac{g}{m} \cos \frac{\theta}{2}$
	e. $\frac{m}{g} \sin \frac{\theta}{2}$	f. $\frac{m}{g} \cos \frac{\theta}{2}$	g. $\frac{m}{g \sin \frac{\theta}{2}}$	h. $\frac{m}{g \cos \frac{\theta}{2}}$

ニ	a. $-mg \sin (2\theta_0)$	b. $mg \cos (2\theta_0)$
	c. $mg \sin \theta_0$	d. $-mg \cos \theta_0$
	e. $mg \sin \frac{\theta_0}{2}$	f. $mg \cos \frac{\theta_0}{2}$
	g. $-\frac{mg}{\cos \theta_0}$	h. $\frac{mg}{\sin \theta_0}$

ホ	a. $\cos (2\theta_0)$	b. $-\sin (2\theta_0)$	c. $-\cos \theta_0$	d. $\sin \theta_0$
	e. $-\frac{1}{\cos \theta_0}$	f. $\frac{1}{\sin \theta_0}$	g. $-\tan \theta_0$	h. $-\frac{\cos \theta_0}{\sin \theta_0}$

ヘ	a. $-g(\cos \theta_0 - \mu \sin \theta_0)$	b. $-g(\mu \cos \theta_0 - \sin \theta_0)$
	c. $-g \frac{1}{\cos \theta_0 + \mu \sin \theta_0}$	d. $-g \frac{1}{\mu \cos \theta_0 + \sin \theta_0}$
	e. $-g \frac{1}{\cos \theta_0 - \mu \sin \theta_0}$	f. $-g \frac{1}{\mu \cos \theta_0 - \sin \theta_0}$
	g. $-g(\cos \theta_0 + \mu \sin \theta_0)$	h. $-g(\mu \cos \theta_0 + \sin \theta_0)$

ト

a. $\sqrt{-lg(\mu \cos \theta_0 + \sin \theta_0)}$

b. $\sqrt{-lg(\cos \theta_0 + \mu \sin \theta_0)}$

c. $\sqrt{lg(\mu \cos \theta_0 - \sin \theta_0)}$

d. $\sqrt{lg(\cos \theta_0 - \mu \sin \theta_0)}$

e. $\sqrt{\frac{lg}{\mu \cos \theta_0 + \sin \theta_0}}$

f. $\sqrt{\frac{lg}{\cos \theta_0 + \mu \sin \theta_0}}$

g. $\sqrt{\frac{-lg}{\mu \cos \theta_0 - \sin \theta_0}}$

h. $\sqrt{\frac{-lg}{\cos \theta_0 - \mu \sin \theta_0}}$

チ

a. $mg \cos \frac{\theta_0}{2}$

b. $mg \sin \frac{\theta_0}{2}$

c. $-mg \cos \theta_0$

d. $mg \sin \theta_0$

e. $-\frac{mg}{\cos \theta_0}$

f. $\frac{mg}{\sin \theta_0}$

g. $\frac{mg}{\cos (2\theta_0)}$

h. $-\frac{mg}{\sin (2\theta_0)}$

リ

a. $\frac{mg}{\sin \theta_0}$

b. $-\frac{mg}{\cos \theta_0}$

c. $-\frac{mg}{\sin (2\theta_0)}$

d. $\frac{mg}{\cos (2\theta_0)}$

e. $mg \sin \theta_0$

f. $-mg \cos \theta_0$

g. $mg \sin \frac{\theta_0}{2}$

h. $mg \cos \frac{\theta_0}{2}$

II. 次の文を読み、下記の設問1～4に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

電流は電荷を持った粒子の移動で説明することが出来る。まず、真空中に距離 d 離して置かれた平行平板からなるコンデンサー（静電容量 C ）に電圧 V をかけて帯電させ充分時間が経過したとする。このコンデンサーに帯電した電気量は である。帯電した電荷のために平行平板間には強さ の電界がかかっている。 極の電極表面に置かれた電子（電荷 $-e$ 、質量 m ）がその電界に力を受けて運動を開始したとしよう。その電子は 運動をして反対側の電極表面に到達する。

次に、導体中の自由電子について考える。導線に電圧をかけると、自由電子は衝突を繰り返しながら、全体として導体内の電界と 向きに一定の速さで移動していく。この電子の導体内の運動と上記の平行平板電極間での運動との違いは衝突の影響と考えられる。

まず、電子が正イオンと衝突するときに進行方向の運動量を平均 Δp 失うものとする。電子が次に正イオンに出会うまでの平均時間を Δt とすると、単位時間当たりの運動量の減少は となり、力の次元を持つ。電子の平均移動速度を v とすると、単位時間当たりに正イオンと衝突する回数は v に比例し、上記の運動量の減少は時間平均すると結局進行方向と逆向きに働く抵抗力 kv (k :定数)になると考える。

いま、長さ l 、断面積 S の導線の両端に V の電圧をかけたところ、導線に電流 I が流れたとする。単位体積中の電子数（電子密度）を n とすると、このときの電流 I は、平均移動速度 v の関数として、

$$I = \text{ホ} \dots\dots\dots ①$$

と表される。一方、自由電子は電界からの力と正イオンとの衝突による抵抗力 kv を受けながら、一定の速さ v で移動すると仮定すれば、

$$v = \text{へ} \dots\dots\dots ②$$

となる。②式を①式に代入して、 $I = \text{ト}$ となるが、これがオームの法則を示している。したがってこの導線の抵抗 R および抵抗率（比抵抗） ρ は、それぞれ $R = \text{チ}$ 、 $\rho = \text{リ}$ と表される。

また、電子は正イオンと衝突して、正イオンにエネルギーを与える。単位時間に電子が正イオンに与えるエネルギーは、 e, l, v, V を用いて電子1個につき 、 n, e, k, S, l, V を用いて導線全体として 、または R, V を用いて である。正イオンはこのエネルギーをもらって熱振動が激しくなり、導線全体が発熱する。これがジュール熱である。

1. 文中の空所 ～ に当てはまる数式または語句を，それぞれ対応する a ～ f から1つずつ選び，その記号をマークせよ。

a. CV^2 b. CV c. $\frac{C}{V}$ d. $\frac{V}{C}$ e. $\frac{V}{C^2}$ f. $\frac{C}{V^2}$

a. $\frac{V^2}{d}$ b. $\frac{d}{V}$ c. $\frac{d^2}{V}$ d. $\frac{V}{d^2}$ e. $\frac{V^2}{d^2}$ f. $\frac{V}{d}$

a. 等速円 b. 等速度 c. 等加速度
d. 楕円 e. 繰り返し f. 落下

a. $\frac{(\Delta p)^2}{2m}$ b. $\frac{(\Delta p)^2}{(\Delta t)^2}$ c. $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ d. $\frac{\Delta t}{\Delta p}$ e. $\frac{\Delta p}{m\Delta t}$ f. $\frac{\Delta p}{(\Delta t)^2}$

a. $\frac{eSnv}{l}$ b. $eSnv$ c. $eSnlv$ d. $\frac{enlv}{S}$ e. $\frac{eSnl}{v}$ f. $\frac{Snlv}{e}$

a. $\frac{eV}{2kl}$ b. $\frac{eV^2}{kl}$ c. $\frac{eV}{kl}$ d. $\frac{eV}{k^2l}$ e. $\frac{2eV^2}{kl}$ f. $\frac{2eV}{k^2l}$

a. $\frac{eSnV}{kl}$ b. $\frac{eSnV}{k^2l}$ c. $\frac{eSnV}{kl^2}$ d. $\frac{e^2SnV}{kl}$ e. $\frac{e^2SnV}{k^2l}$ f. $\frac{e^2SnV}{kl^2}$

a. $\frac{k^2l}{e^2Sn}$ b. $\frac{kl}{e^2Sn}$ c. $\frac{kl}{eSn}$ d. $\frac{kl^2}{eSn}$ e. $\frac{kl^2}{e^2Sn}$ f. $\frac{k^2l}{eSn}$

a. $\frac{kl}{e^2n}$ b. $\frac{k^2}{en}$ c. $\frac{kl}{en}$ d. $\frac{k}{en}$ e. $\frac{k}{e^2n}$ f. $\frac{k^2}{e^2n}$

a. $\frac{eVv}{l}$ b. $\frac{e^2Vv}{l}$ c. $\frac{eVv}{l^2}$ d. $\frac{e^2Vv}{l^2}$ e. $\frac{eVv^2}{l}$ f. $\frac{eV^2v}{l^2}$

a. $\frac{e^2SnV^2}{k^2l}$ b. $\frac{e^2SnV}{kl^2}$ c. $\frac{e^2SnV^2}{kl}$
d. $\frac{eSnV^2}{kl}$ e. $\frac{e^2SnV^2}{kl^2}$ f. $\frac{eSnV}{k^2l}$

a. $\frac{V^2}{R}$ b. $\frac{V}{R}$ c. $\frac{V}{R^2}$ d. $\frac{1}{VR}$ e. $\frac{R^2}{V}$ f. $\frac{V^2}{R^2}$

2. 文中の空所 にあてはまる語句を，次の a・b から 1 つ選び，その記号をマークせよ。
- a. 正 b. 負
3. 文中の空所 にあてはまる語句を，次の a～c から 1 つ選び，その記号をマークせよ。
- a. 同じ b. 逆 c. 関係のない
4. i. 銅の場合，電子密度はおよそ 8.5×10^{28} 個/ m^3 である。導線の断面積を 0.5 mm^2 ，電流を 500 mA としたとき電子の平均移動速度を有効数字 1 桁で求めよ。ただし，単位もしるすこと。また， $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。
- ii. 壁スイッチで部屋の照明を点灯した場合，スイッチの信号の伝わる速さと上記 i で求めた平均移動速度には大きな違いがあるがそれはなぜか。その理由を 25 字以内でしるせ。

Ⅲ. 次の文を読み、下記の設問 1・2 に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

太陽光線が雨滴を通過するとき屈折と反射を起こし、雨上がりの空に浮かぶ虹は太陽を背にしてある方向に円弧を描く。図 1 のように光が空気中から入射角 α で水に入射する時、入射した光の一部は、入射角と同じ角度 α で反射し、残りは屈折角 β で水中を進む。水の屈折率を n とし、空気の屈折率を 1.0 とする。 n は α と β を用いて、 $n = \boxed{\text{イ}}$ で表される。

さらに、図 2 のように、屈折率 1.0 の空気中での波長が λ の単色光が、厚さ l 、屈折率 n_1 のガラスに入射した。空気とガラスの境界面で反射した光と、ガラスと屈折率 n ($1 < n < n_1$) の水との境界面で反射した光が干渉する。空気中での波面が BB' の光は屈折して波面 DD' となる。 $A' \rightarrow B' \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ の経路をとる光と $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E$ の経路をとる 2 つの光の干渉について考える。この 2 つの光の D に到るまでの経路差 (= $D'C + CD$) は、屈折角 r と l を用いて表すと $\boxed{\text{ロ}}$ である。このガラス内での経路差を空気中での経路差 x に換算すると、入射角 i 、 l と n_1 を用いて $x = \boxed{\text{ハ}}$ と表せる。

次に、空気中に浮かんだ屈折率 n の球形の水滴が平行光線を受けている場合を考えよう。図 3 に示す直線 HO に平行で距離 d だけ離れた光線が、点 P において球に入射する。図 3 のように入射角を α 、屈折角を β とする。屈折光は点 Q で再び球面に達し、その一部は屈折して空気中に出ていく。ここでは、点 Q で反射し、点 R で屈折して空気中に出ていく光線を考えよう。図 3 に示す直線 HO と直線 RT のなす出射角を θ とすると、 α と β を用いて $\theta = \boxed{\text{ニ}}$ と表される。

距離 d が 0 (ゼロ) の時、 θ は 0 (ゼロ) である。その状態から d が大きくなるにつれて、 θ は始めは増加し、最大値 θ_0 に達したのち減少する。 θ が θ_0 に近い値をとるときは、 d が変化しても出射角はほとんど変化しない。距離 d が変化すると、 α も β も変化する。 $n = \boxed{\text{イ}}$ を用いて、 θ を β で微分すると $\frac{d\theta}{d\beta} = \boxed{\text{ホ}}$ となる。さらに、 θ_0 の時は $\frac{d\theta}{d\beta} = 0$ となり、 θ が θ_0 のときの α を α_0 とし、 β を β_0 とする。また、 $\sin \beta_0$ は屈折率 n のみで表され、 $\sin \beta_0 = \boxed{\text{ヘ}}$ となる。 θ_0 の状態から d がわずかに変化すると、 α は $\alpha_0 + \Delta\alpha$ へ、 β は $\beta_0 + \Delta\beta$ へ変化し、 θ は $\theta_0 + \Delta\theta$ へ変化する。 $\Delta\alpha$ も $\Delta\beta$ も充分小さい場合の近似式を考える。参考として、 x が充分小さい場合、 x の 3 次以上の項を無視して、 $\sin x \doteq x$ 、 $\cos x \doteq 1 - \frac{1}{2}x^2$ 、 $\sqrt{1+x} \doteq 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2$ を用いる。この時、 $\Delta\theta \doteq \boxed{\text{あ}}$ となり、 θ_0 が確かに最大値であることが確認できる。

実際、赤色の光に対する水の屈折率が 1.331 であるので、最大値 θ_0 として 0.740 rad が得られる。また、水の屈折率 n は光の波長によってわずかに異なり、 n が増加すると出射

角は減少する。したがって、七色の虹が見える。

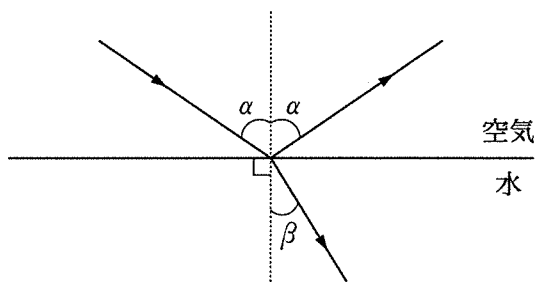


図1

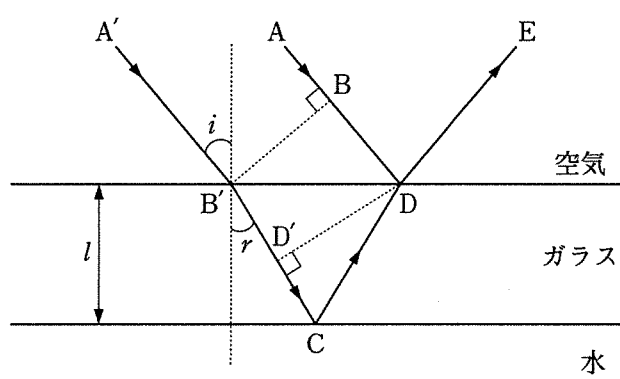


図2

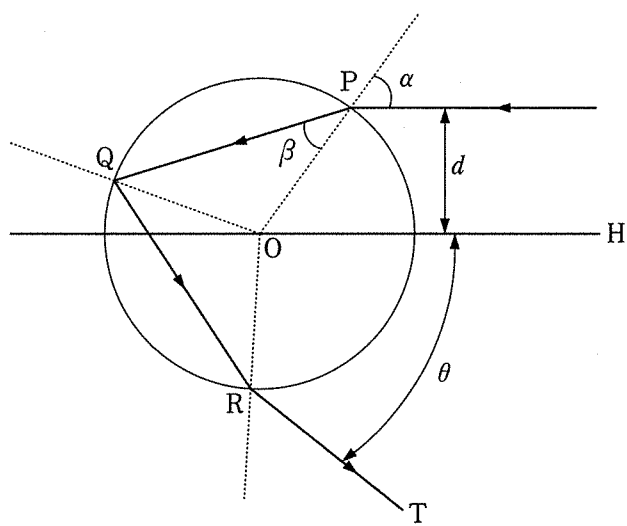


図3

1. 文中の空所 ~ にあてはまる数式を、それぞれ対応する a ~ e から 1つずつ選び、その記号をマークせよ。

<input type="text" value="イ"/>	a. $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$	b. $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$	c. $\frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$
	d. $\frac{\cos (2\alpha)}{\sin \beta}$	e. $\frac{\sin (2\alpha)}{\cos \beta}$	

<input type="text" value="ロ"/>	a. $2l \sin (2r)$	b. $4l \cos r$	c. $2l \cos r$
	d. $4l \sin (2r)$	e. $4l \sin r$	

<input type="text" value="ハ"/>	a. $4l \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}$	b. $2l \sqrt{n_1^2 - 2 \cos^2 i}$	c. $4l \sqrt{n_1^2 - 2 \sin^2 i}$
	d. $4l \sqrt{n_1^2 - \cos^2 i}$	e. $2l \sqrt{n_1^2 - \sin^2 i}$	

<input type="text" value="ニ"/>	a. $2\beta + \alpha$	b. $4\beta - 2\alpha$	c. $4\beta + 2\alpha$
	d. $4\beta + \alpha$	e. $2\beta - 2\alpha$	

<input type="text" value="ホ"/>	a. $4 + 2n \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$	b. $4 - n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$	c. $2 + 2n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$
	d. $4 - 2n \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$	e. $2 - 2n \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$	

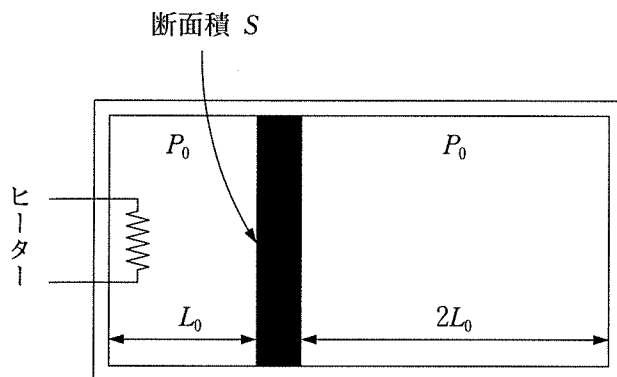
<input type="text" value="へ"/>	a. $\frac{2}{n} \sqrt{\frac{1}{3} (4 + n^2)}$	b. $\frac{1}{n} \sqrt{\frac{2}{3} (4 - n^2)}$	c. $\frac{1}{n} \sqrt{\frac{1}{3} (4 - n^2)}$
	d. $\frac{2}{n} \sqrt{\frac{1}{3} (4 - n^2)}$	e. $\frac{1}{n} \sqrt{\frac{1}{3} (4 + n^2)}$	

2. 文中の空所 にあてはまる数式をしるせ。

IV. 次の設問 1～3 に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。

1. 円筒型の容器があり、その内部が壁（断面積 S ）によって仕切られている。この容器の壁の両側に同じ温度の単原子分子理想気体を入れたところ、図に示すように両側の圧力がともに P_0 になった。この時、図のように左側の長さが L_0 、右側の長さが $2L_0$ であった。壁は気体分子を通さないが、なめらかに容器の左右に動くことができる。また、容器および壁は断熱材でできており、熱容量は無視できるものとする。今、壁の左側の空間に体積の無視できるヒーターを入れ、気体に充分時間をかけて熱量 Q を加えると、壁はゆっくりと右方向に x だけ移動して停止した。この時、壁の両側の圧力は P_1 になった。次の問 i～iii に答えよ。

- i. この時の圧力 P_1 を、 S 、 L_0 、 P_0 、 Q を用いて求めよ。
- ii. 壁が右方向に移動するとき、壁の左側の気体は右側の気体に対して仕事をする。この仕事の大きさ W を、 S 、 P_0 、 L_0 、 Q 、 x を用いて求めよ。
- iii. 壁が移動することによって壁の右側の気体は断熱圧縮するが、断熱変化の前後では圧力を P 、体積を V とすると、 $PV^\gamma = \text{一定}$ となることが知られている。ただし、 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ (C_p は定圧比熱、 C_v は定積比熱) である。この関係から壁の移動距離 x を S 、 P_0 、 L_0 、 Q 、 γ を用いて求めよ。



図

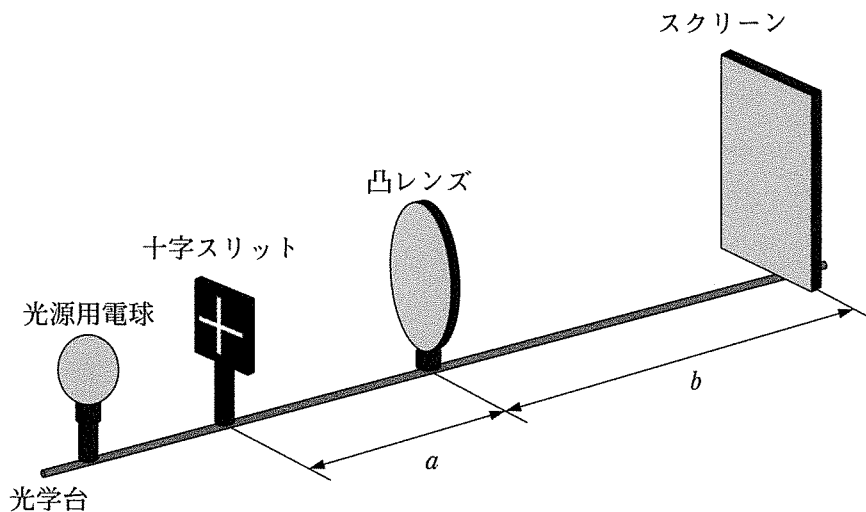
2. 図のように光学台の上に、光源用電球、十字スリット、凸レンズ、スクリーンを置いた。十字スリットと凸レンズの間隔を a 、凸レンズとスクリーンの間隔を b とする。 $a = 20.0 \text{ cm}$ 、 $b = 50.0 \text{ cm}$ の時にスクリーンに十字スリットの鮮明な像が映った。次の問 i ~ iv に答えよ。

i. 光源用電球、十字スリット、スクリーンを固定したまま、凸レンズを光学台にそって前後させると、もう1か所十字スリットが鮮明に映る凸レンズの場所があった。その時の a の値を有効数字3桁で求めよ。

ii. 凸レンズの焦点距離を有効数字3桁で求めよ。

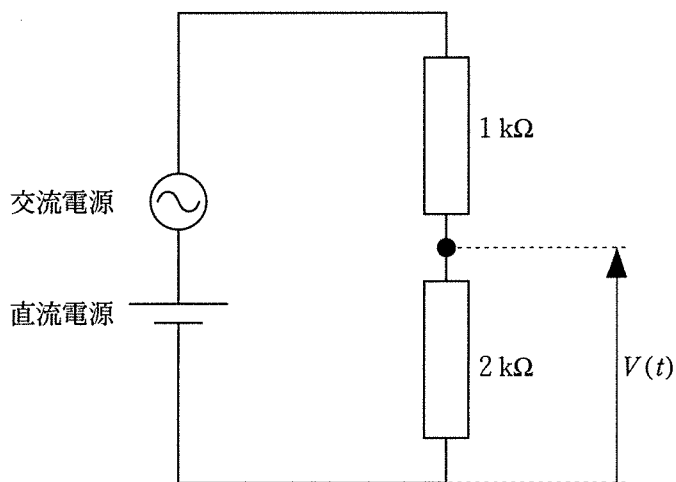
iii. $a = 20.0 \text{ cm}$ 、 $b = 50.0 \text{ cm}$ としてスクリーンに像を映したまま、光を遮断できる厚紙で凸レンズの上半分を隠した。スクリーンに映った像はどのようなになるか。20字以内でしるせ。

iv. $a = 30.0 \text{ cm}$ 、 $b = 40.0 \text{ cm}$ にすると、スクリーンに鮮明な像は映らない。そこで、凸レンズの中心だけ光が通るような小さな穴をあけた厚紙を、凸レンズの直前に密着させて置いた。そうすると、スクリーンには十字スリットの像がある程度映るようになった。穴が充分小さい場合、十字スリットの大きさは何倍になって映るか、有効数字3桁で求めよ。



図

3. 図のように 1.5 V の直流電源、 $2 \sin(\pi t)\text{ [V]}$ の交流電源と $1\text{ k}\Omega$ 、 $2\text{ k}\Omega$ の抵抗が直列に接続されている。ただし、 t は秒を単位とする時間である。直流電源の負極を基準 (0 V) として2つの抵抗の midpoint の電圧変化 $V(t)$ をグラフに図示せよ。



【以下余白】

