

物 理

(問 題)

2025年度

〈2025 R 07190015 (物理)〉

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は2～11ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入すること。
4. 記述解答用紙記入上の注意
 - (1) 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入すること。
 - (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
 - (3) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入すること。

数字見本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 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さないこと。
7. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
8. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I] 図 I - 1 の左のように水平面と角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$) をなす斜面 B 上に、バネ定数 k の軽いバネの下端を固定しておく。質量 m の小球をバネの上端に置いてバネを自然長から L だけ縮めて静かに放すと、伸びるバネにより小球は斜面上方に動き出した。斜面の長さはバネの自然長と同じ長さで、斜面と小球の間には動摩擦係数 μ' の摩擦が生じる。斜面の上端 A まで伸びた自然長のバネはストッパーによってそれを超えては伸びず、小球はバネが自然長のところでバネから離れて斜面を飛び出す。小球は大きさを無視し回転しないものとする。重力加速度の大きさを g とする。

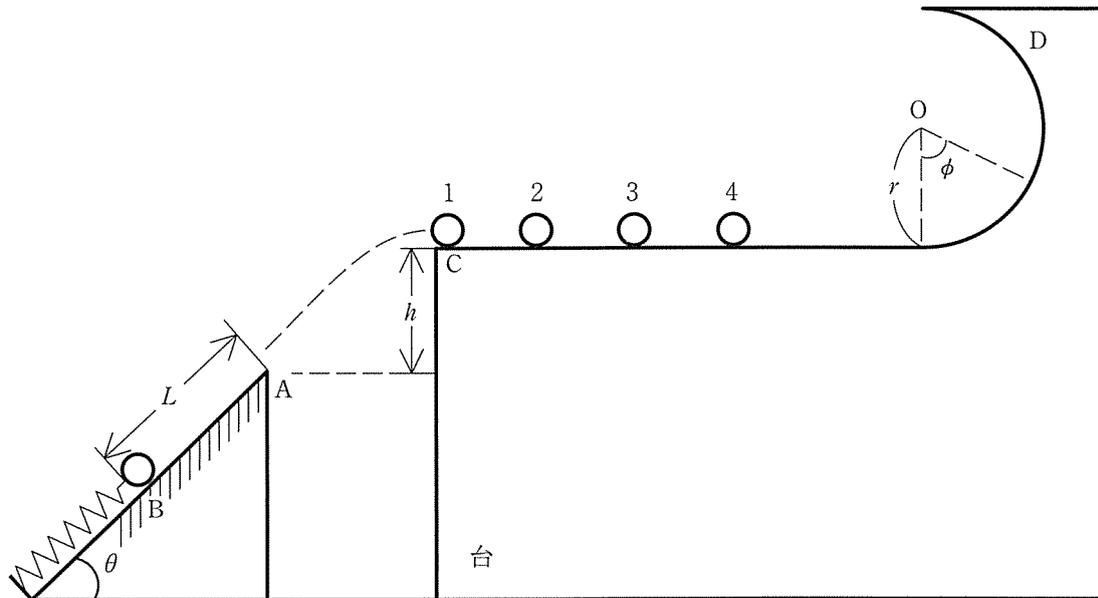


図 I - 1

- 問 1 斜面を飛び出す瞬間に小球がもつ運動エネルギーを、 k, m, L, g, μ', θ の中から必要な記号を用いて表せ。
- 問 2 縮めたバネを静かに放して小球が斜面上を登る場合に、角度 θ が制限内のどのような値のときでも、小球が斜面を飛び出すようにしたい。そのとき、縮めた長さ L が満たす条件を $L > \boxed{\text{ア}}$ と表すとき、 $\boxed{\text{ア}}$ に入る式を、 k, m, g, μ' の中から必要な記号を用いて表せ。
- 問 3 図 I - 1 のように、斜面の上端 A と台の角 C の鉛直方向の距離を h とする。斜面から飛び出した小球（今後は小球 1 とよぶ）は、ちょうど最高点に達したときに隣にある台の角 C に到達して、そのまま台に乗り、摩擦がない水平な台の上面を滑って直進した。このとき、 $k, m, L, g, \mu', \theta, h$ が満たす条件式を L の二次方程式として $\boxed{\text{イ}} L^2 + \boxed{\text{ウ}} L - h = 0$ と書くとき、 $\boxed{\text{イ}}$ 、 $\boxed{\text{ウ}}$ に入るそれぞれの式を、 k, m, g, μ', θ, h の中から必要な記号を用いて表せ。

問4 問3で、台に乗った瞬間の小球1の速さを V_0 とする。台の上には図 I - 1 のように大きさを無視できる別な小球2 (質量 m)、小球3 (質量 $\frac{m}{3}$)、小球4 (質量 $\frac{m}{3}$) が小球1の進行方向の直線上に置かれて静止しており、小球1はまず小球2に衝突する。小球同士の衝突はすべて弾性衝突とする。小球4が半円筒状の軌道Dに登る前に、小球どうしの衝突がすべて終わった。そのとき、各小球の速度を求めよ。ただし、小球1から小球2の向きを正の向きとし、速度が正の向きの場合はその大きさに+符号、負の向きの場合には-符号を付けて解答せよ。また、各小球と台の上面との間に摩擦はないものとする。

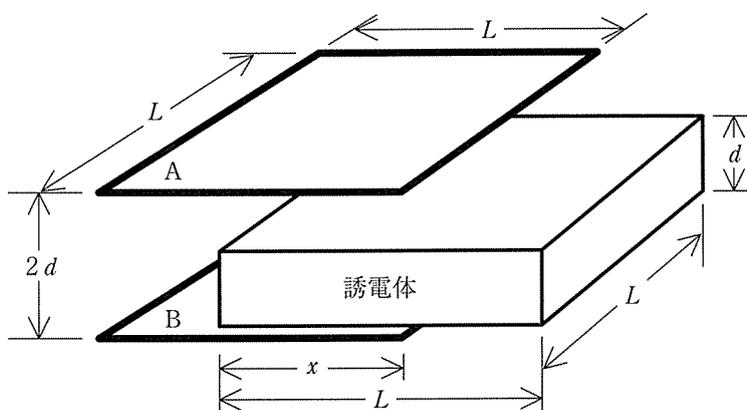
問5 小球4は問4で求めた最終的な速度で、図 I - 1 のようなOを中心とした半径 r の半円筒状の軌道Dを登り始める。図 I - 1 に示す角度 ϕ ($0 < \phi < \frac{\pi}{2}$) だけ、小球4が軌道Dを登ったとき、小球4の速さと、小球4が軌道Dから受ける抗力の大きさを、 m 、 g 、 V_0 、 ϕ 、 r の中から必要な記号を用いて表せ。ただし、小球4と軌道Dの間に摩擦はないものとする。

[II] 次の設問に答えよ。

問1 $x - y$ 平面上の座標 $(0, 0)$, $(\frac{a}{2}, \frac{a}{2})$, (a, a) のそれぞれに電気量 q の点電荷を置き、座標 $(a, 0)$ に電気量 Q の点電荷を置く。ただし、 $0 < a$ である。また、無限遠を電位の基準とし、クーロンの法則の比例定数を k とする。座標 $(0, a)$ での電位を、 a, q, Q, k の中から必要な記号を用いて答えよ。

問2 問1において座標 $(0, a)$ に電気量 Q_0 の点電荷をさらに置いたところ、座標 (a, a) にある点電荷に電気力が働かなくなった。そのとき、 Q_0 は Q の (ア) 倍であり、 Q は q の (イ) 倍である。(ア) と (イ) の中に入る数値を答えよ。

問3 真空中で、一辺が L の正方形の2枚の薄い金属板を距離 $2d$ 離して向かい合わせ、平行板コンデンサーをつくる。上方の金属板をA、下方の金属板をBとする。 $2d$ は L より十分小さいとし、この平行板コンデンサーの電気容量を C_0 とする。次に、図II-1のように上面と下面が金属板A、Bと同じように一辺 L の正方形で厚さが d の直方体の形をした比誘電率 ϵ_r の誘電体を、平行板コンデンサーの極板間に極板に平行に挿入する。誘電体を長さ x だけ挿入したとき、コンデンサー全体の電気容量は C_0 の f 倍になる。 $f = \frac{x}{L} \left((1) - \frac{(2)}{(ウ)} \right) + (3)$ と書くとき、(1), (2), (3) に入るそれぞれの数値、および (ウ) に入る ϵ_r を含む式を答えよ。



図II-1

問4 問3で挿入する長さ x を $0.75L$ 以上にして、 $f = 1.4$ としたい。そのとき、比誘電率 ϵ_r がとることのできる数値の範囲の下限と上限を求めよ。また、誘電体として表Ⅱ-1にある比誘電率をもつ誘電物質を用いるとき、この条件に適している誘電物質名と、そのときの $\frac{x}{L}$ の値を求めよ。

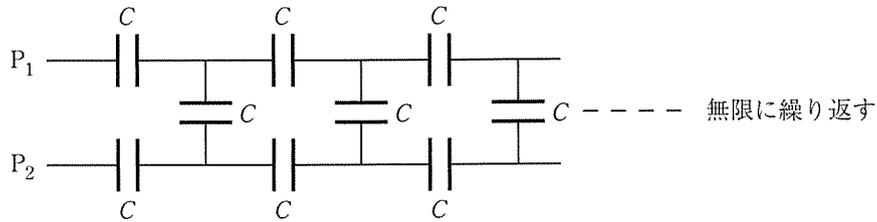
表Ⅱ-1

誘電物質	比誘電率
フェロシリコン	1.4
パラフィン	2.0
クラフト紙	3.0
雲母	7.0
ソーダ石灰ガラス	7.5
ゴム (シリコン)	8.5
アルミナ磁器	10.0

問5 問3で、平行板コンデンサーに誘電体を完全に挿入 $\left(\frac{x}{L} = 1\right)$ してから、金属板Aに正電荷を、それと同じ大きさの負電荷を金属板Bに与えた。金属板Aの誘電体に対面した側の電荷の面密度を σ とする。一方、誘電体の金属板Aに対面した側では(エ)が起きるので、面密度 $-\sigma_p$ の負電荷が現れる。 σ_p を $L, d, \epsilon_r, \sigma, C_0$ の中から必要な記号を用いて表せ。また、(エ)に入る最も適切な言葉を下記の①から⑤の中からひとつ選んで番号で答えよ。

- ① 電磁誘導, ② 静電誘導, ③ 相互誘導, ④ 電離作用, ⑤ 誘電分極

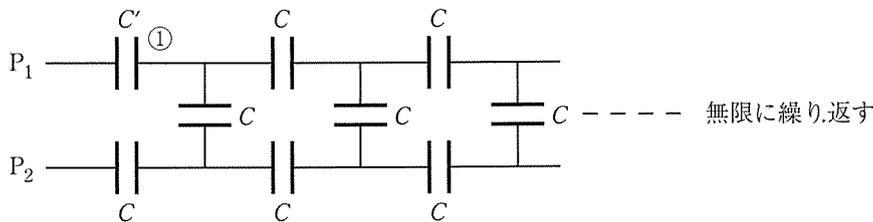
問6 図Ⅱ-2のように、同じ電気容量 C をもつ多くのコンデンサーを P_1 , P_2 の右側に繰り返し無限に接続する。 P_1 , P_2 間に電位差 V を与えたとき、各コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーをすべて足し合わせた総静電エネルギーを、 C と V の中から必要な記号を用いて表せ。ただし、各コンデンサーでの電位差は耐電圧を超えないとする。電位差 V を与える前に、どのコンデンサーにも電荷は蓄えられていないとする。



図Ⅱ-2

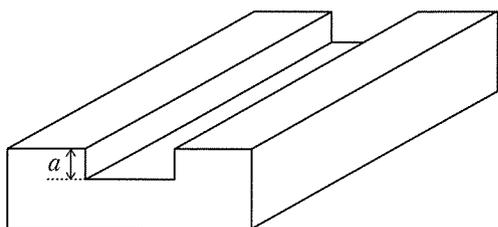
問7 図Ⅱ-2のコンデンサーとして、問3で示した平行板コンデンサーを用いることを考える。すべてのコンデンサーで、厚さが d で比誘電率 $\epsilon_r = 9$ の誘電体を極板間に $\frac{x}{L} = 1$ となるように挿入してある。このようなコンデンサーを用いた図Ⅱ-2の回路（これを回路1とよぶ）で、 P_1 , P_2 間に電位差 V を与えたとき、各コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーをすべて足し合わせた総静電エネルギーを U_1 とする。ただし、各コンデンサーでの電位差は耐電圧を超えないとする。電位差 V を与える前に、どのコンデンサーにも電荷は蓄えられていないとする。

次に、図Ⅱ-3で示されるように、回路1で P_1 に一番近い①のコンデンサーだけ、誘電体を挿入する値 $\frac{x}{L}$ を変え、他のコンデンサーは回路1と同じである回路を用意する。コンデンサー①の電気容量を C' とする。この回路の P_1 , P_2 間に電位差 V を与えたとき、各コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーをすべて足し合わせた総静電エネルギーを U_2 とする。ただし、各コンデンサーでの電位差は耐電圧を超えないとする。電位差 V を与える前に、どのコンデンサーにも電荷は蓄えられていないとする。 $\frac{U_2}{U_1} = 0.9$ となるときの $\frac{x}{L}$ の値を、四捨五入して小数第2位までで答えよ。なお、 $\sqrt{3} = 1.73$ として計算すること。

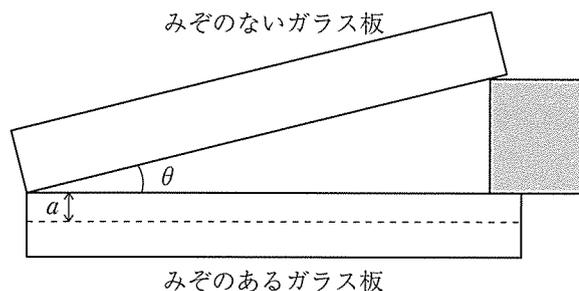


図Ⅱ-3

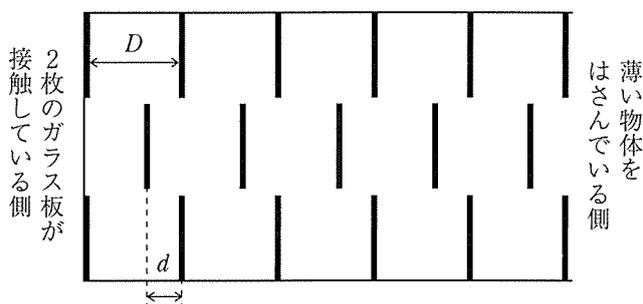
[Ⅲ] 真空中に透明なガラス板が2枚あり、そのうち1枚には、図Ⅲ-1のような深さ一定のみぞがつけてある。みぞの深さを a [m] とする。みぞのあるガラス板の上にみぞのないガラス板をのせ、図Ⅲ-2のように、一端に薄い物体をはさんで波長 λ [m] の単色平行光を真上から下側のガラス板に垂直にあてて、真上からその反射光を見たところ、図Ⅲ-3のような干渉縞が現れた。干渉縞は平行で、暗線間の間隔は D [m]、みぞのついていないところの上に現れる暗線から、みぞの上に現れた左側の一番近い暗線までの距離を d [m] とする。空気の絶対屈折率を1として、次の問1～問3に答えよ。



図Ⅲ-1



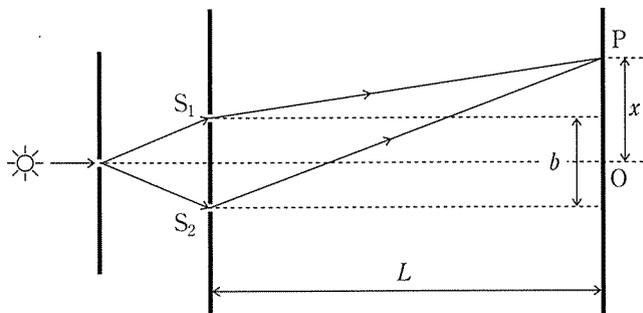
図Ⅲ-2



図Ⅲ-3

- 問1 2枚のガラス板のなす角を θ とする。 $\tan \theta$ を D と λ を用いて表せ。
- 問2 みぞの深さが光の半波長よりも小さいとき、みぞの深さ a を d 、 D 、 λ を用いて表せ。
- 問3 みぞの深さが光の半波長よりも大きいとき、図Ⅲ-3と同じ干渉縞が現れるみぞの深さ a を d 、 D 、 λ と自然数 i を用いて表せ。

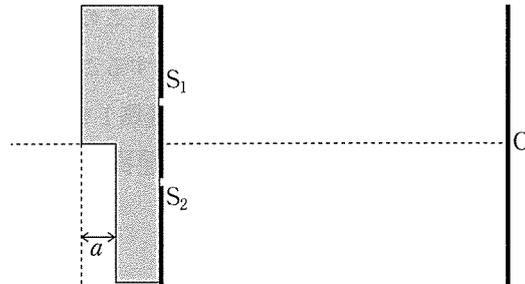
問1～問3と同じ波長 λ [m]の単色光を用いて空気中で図Ⅲ-4のような実験を行った。単色光を2つのスリット S_1 , S_2 から等距離にある単スリットに通し, 2つのスリットを通る光を干渉させた。 S_1 , S_2 間の間隔を b [m], 2つのスリットからスクリーンまでの距離を L [m]とし, S_1 , S_2 間の間隔 b は2つのスリットからスクリーンまでの距離 L に比べて十分小さいとする。空気の絶対屈折率を1として, 問4に答えよ。



図Ⅲ-4

問4 スクリーンの中心 O からすぐ隣にできた明線の位置を P とする。 OP の長さが x [m]であったとき, 単色光の波長 λ を b , L , x を用いて表せ。ただし x は L よりも十分に小さく, $|\epsilon| \ll 1$ のときに成り立つ, $\sqrt{1+\epsilon} \doteq 1 + \frac{1}{2}\epsilon$ の近似式を必ず用いて, 平方根を含まない形で解答すること。

次に、図Ⅲ-1に示したみぞのあるガラス板をスリット S_1 , S_2 の直前に置き、図Ⅲ-5のように、光が S_1 と S_2 に入る前に通るガラス板の厚さが a だけ異なるようにしたところ、点 O の隣にあった明線が Δx [m] 移動した。単スリットから2つのスリット S_1 , S_2 までの距離は b に比べて十分に長く、単スリットから2つのスリットに向かう光はほぼ平行で、ガラス板に対して垂直に入射するものとする。空気の絶対屈折率を1、ガラスの絶対屈折率を n として、問5と問6に答えよ。



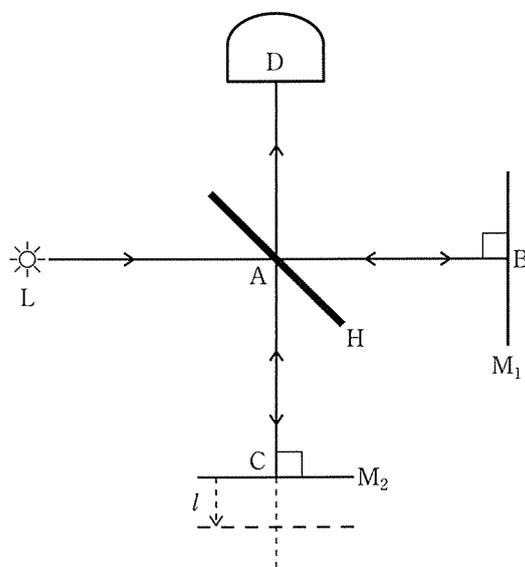
図Ⅲ-5

問5 光源から S_1 に至るまでの光路長と、光源から S_2 に至るまでの光路長の差を、 n , a を用いて表せ。

問6 Δx を n , a , b , L を用いて表せ。

問7 問1から問6までの実験において、 $b = 1.6 \times 10^{-4}$ [m], $L = 1.0 \times 10$ [m], $x = 4.0 \times 10^{-2}$ [m], $\Delta x = 3.1 \times 10^{-3}$ [m], $D = 2.4 \times 10^{-3}$ [m], $d = 6.0 \times 10^{-4}$ [m] であったとする。みぞの深さが光の半波長より小さいとき、光の波長 λ [m], みぞの深さ a [m], ガラスの絶対屈折率 n を、それぞれ有効数字2桁で求めよ。

これまでは空気の絶対屈折率を真空と同じ1として考えてきたが、実際の空気の絶対屈折率は真空よりもわずかに大きい。これを測定するために、1気圧の空気中で、図Ⅲ-6のような実験を行うことを考えよう。この実験系は、真空中で λ_0 [m] の波長をもつ単色平行光を発するレーザー光源L、厚さの無視できる半透明鏡H、2枚の平面鏡 M_1 、 M_2 と光の強度を測る光検出器からなる。Lから出た光線は半透明鏡H上の点Aで互いに直交する方向に進む透過光と反射光に分けられる。透過光は平面鏡 M_1 上の点Bで反射された後、逆向きに進んで点Aに戻り、一部が点Aで反射されて光検出器の点Dに到着する。この光の経路 $L \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow D$ を「経路1」と呼ぶ。反射光は平面鏡 M_2 上の点Cで反射され、逆向きに進んで点Aに戻り、一部がDに到達する。この光の経路 $L \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$ を「経路2」と呼ぶ。 M_1 は固定されており、 M_2 は光線の進行方向と平行に移動することができる。はじめ、 $AB = AC$ としておき、その後 M_2 を l [m] だけ矢印の方向にゆっくり動かしたところ、経路1を通った光と経路2を通った光が干渉し、Dにおいて光が強め合ったり弱め合ったりした。1気圧の空気の絶対屈折率を $1 + \Delta n$ として、問8と問9に答えよ。

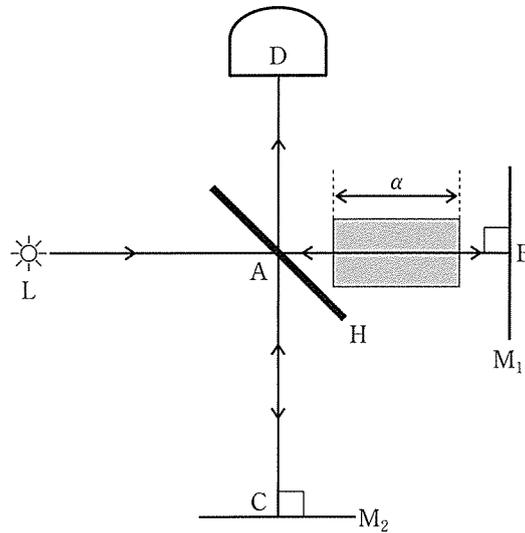


図Ⅲ-6

問8 M_2 を l 移動させたときの経路1と経路2の光路差を l と Δn を用いて表せ。

問9 M_2 を移動させる前、つまり $AB = AC$ のときは、Dにおいて光は強め合っていたが、 M_2 を移動させる間に光は弱め合い、また強め合うという変化をくり返した。この「強め合っていた光が弱め合い、また強め合う」という変化を、 M_2 が l 移動したときに、ちょうど10回繰り返した。このとき、 l を Δn と λ_0 を用いて表せ。

図Ⅲ-7のように、HとM₁の間に長さ α [m]の容器を置き、容器内を真空にした。またこのとき、Dにおいて光が強め合うようにM₂の位置を調節した。次に、容器内に空気を徐々に入れると、Dにおいて問9と同じような光の強弱を繰り返した。



図Ⅲ-7

問10 容器の内部が真空だった状態から1気圧の空気で満たされるまでに、Dにおいて問9と同様の光の強弱を N 回繰り返した。このとき、 Δn を N 、 α 、 λ_0 を用いて表せ。

問11 $\lambda_0 = 6.0 \times 10^{-7}$ [m]、 $\alpha = 4.0 \times 10^{-2}$ [m] で実験を行ったところ、 $N = 35$ となった。このとき、 Δn の値を有効数字2桁で求めよ。

[以下余白]

〈2025 R 07190015 (物理)〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

問	[I]		[II]		
	1	2	1	2	3
採点欄					
問	[III]				
	1	2	3		
採点欄					

〈2025 R 07190015 (物理)〉

受験番号	万	千	百	十	一
氏名					

(注意) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入してはならない。記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。

- 注 意
1. 受験番号(算用数字)・氏名は指示に従ってただちに所定欄に記入し、それ以外に記入してはならない。
 2. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
 3. 解答は黒鉛筆またはシャープペンシル (HB) で書くこと。
 4. 試験終了時にこの解答用紙を裏返して机の上に置き、指示を待つこと。
 5. 計算器は一切使用してはならない。

問	[I]		[II]		
	1	2	1	2	3
採点欄					
問	[III]				
	1	2	3		
採点欄					

物 理 (解 答 用 紙)

I	問1				
	問2	$L >$	ア		
	問3	イ			
		ウ			
	問4	小球1		小球2	
	小球3		小球4		
問5	速さ =				
	抗力の大きさ =				

問5	$\sigma_p =$			
	(工)			
問6	総静電エネルギー =			
問7	$\frac{x}{L} =$			

II	問1	電位 =			
	問2	(ア)		(イ)	
		(1)		(2)	
	問3	(3)		(ウ)	
問4		下限		上限	
	誘電物質名				
	$\frac{x}{L} =$				

III	問1	$\tan \theta =$			
	問2	$a =$			
	問3	$a =$			
	問4	$\lambda =$			
	問5	光路差 =			
	問6	$\Delta x =$			
	問7	$\lambda =$	[m]		
		$a =$	[m]		
		$n =$			
	問8	光路差 =			
	問9	$l =$			
問10	$\Delta n =$				
問11	$\Delta n =$				