

本試:富山大学 二次試験 (物理) III

的中!! 富山大学 直前個別指導 物理 (波の干渉編)

III 図1のように、平行な直線状の細いきずを等間隔につけた平面反射鏡を水平面に置き、これに単色のレーザー光を照射し反射鏡からの光を反射鏡に垂直に立てたスクリーンで観察した。きずの間隔を d 、レーザー照射位置からスクリーンまでの距離を h とする。入射光と反射光を含む面はきずに垂直で、スクリーン面はきずに平行である。レーザー光を入射角 45° で反射鏡に照射した。レーザー光は平行光とし、そのビームの大きさはきずの間隔 d より十分大きいとする。以下の問いに答えよ。

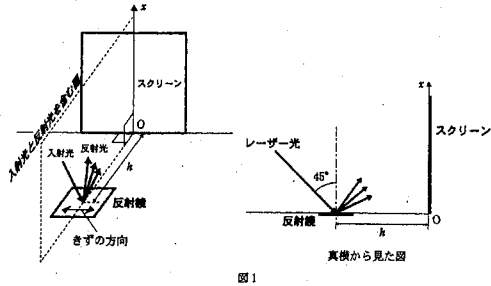


図1

(1) 以下の文の空欄(ア)~(キ)に適切な語句を入れよ。

光は横波と考えることができる。従って、光の波の振動は進行方向に対して(ア)である。波の振動における一周期の中で変位がどの状態にあるのかを示す指標を(イ)という。空間的に広がっている波について(イ)が同じになる場所をつなぐことによってできる面を(ウ)という。波の山をつないだ(ウ)の間隔は、波の(エ)に等しい。また、(ウ)は光の進行方向に対して常に(オ)である。
(ウ)が平面となるような波を平面波という。平面波が障害物の隙間を通過するとき、波が障害物の後ろ側に回り込んで進む現象が観察される。このような現象を(カ)という。図1の設定で、光を平面波として反射鏡で反射されて進む光にも(カ)と同様に波が広がる現象が観察される。きずの間隔が波の(エ)と比べ同じくらいであるとき、波が広がる程度は大きくなる。また、きずの間隔が(キ)なるにつれて、波が広がる程度は小さくなる。

(2) 以下の文の空欄(ク)~(シ)に適切な数式、記号あるいは語句を入れよ。

反射面における拡大図を示すと図2のようなになる。光の経路1と2は平行で、それぞれ反射鏡に入射角 i で入射し、反射鏡から反射角 r でスクリーンに向かうとする。きずが無い場合は i (ク) r の関係が成立する。きずがある場合について、となり合うきずの付近からスクリーンへ届く光を考える。経路1と経路2において点Aと点Bの(イ)が等しい。経路1は点Aを経て点Dに達し、経路2は点Bを経て点Cに達する。 d, i, r を用いてADとBCの長さを表すと、AD=(ケ)、BC=(コ)である。2つの経路の差を求めると(サ)となる。経路1を通った光と経路2を通った光が強め合うのは、(サ)が(エ)の(シ)倍の時である。

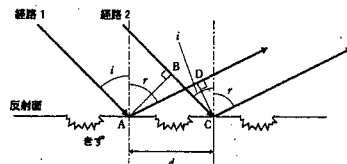


図2

以下 省略

次の文中の□をうめよ。

大学1年生のA君は授業中に単色の細い平行光線(A君が使ったのはレーザー光で、干渉性に優れている)をものさしに当てたところ、反射した先に図1の左側に描かれているような明るい点の列を観察した。このことからA君は手元にある1mm刻みのものさしを使ってこの単色光の波長を測定できるのではと、考えて次のような実験を行った。以下はその詳細である。

図1のように単色光源から水平方向に平行光線を出し、鉛直におかれたスクリーンに当てた。その照射点の位置をOとする。次に金属製の1mm刻みのものさしMNをその目盛のある面を水平の状態からスクリーン側の端Mを少し持ち上げて光線に当てた。このとき光線と目盛の直線は垂直の状態になっている。するとスクリーン上には一番明るい点(P_0 とする)を中央にして、その上下方向に並ぶいくつかの点の列(P_0 より上部のもので P_0 に近いものから P_1, P_2, \dots とする)が見られた。

光線に沿って斜め方向からものさしの目盛の線を見てみると、これらの線は密に平行に等間隔に並んでいるのが見える。光は波であるから、干渉や□(カ)を起こすが、波長はきわめて短いため、幅が1mm程度のスリットを通過する光の場合には、その□(カ)現象のあらわれ方は□(イ)。しかし、ものさしに斜め方向から光を当てると、目盛の間隔が見かけ上小さくなり、目盛の線と線の間の部分が幅の狭いスリットの役目をし、各々のスリットから□(カ)した光の干渉が考えられる。ものさし上でその様子を示すのが図2である。波長 λ (m)の単色光がものさしの目盛面に対して角 α (rad)で入射し(図中では光線 l_1, l_2, l_3 を指す)、各スリット(目盛の線と線の間の部分)の対応点A, D, F(その間隔を d (m)とする)から□(カ)して、目盛面と角 β (rad)をなす方向へ進む平行な光(図中の l'_1, l'_2, l'_3 を考える。これらの光線の点A, B, Cで光の位相は等しいとし、また点F, G, Hよりも先においては光の道のりに差は生じないので、 l'_1 と l'_2 の光の道のりの差はAEと□(カ)から生じる。その差を d, α, β を用いて表すと、□(イ)となる。他の隣りあった光の道のりの差も同じである。光が干渉して強め合うのは、□(イ) = n □(カ) (n は整数) $\dots\dots$ ①

を満たすときに限られ、それ以外のときには、各スリットの対応点からの光は少しずつ位相差を生じ、全体として打ち消される。

A君の測定によると、ものさしに光を当てた位置Qからスクリーンまでの距離 L は560 cm, $OP_0 = 144$ (mm), $P_0P_1 = 140$ (mm)であるので、 $\angle OQP_0$ は 0.0507 rad($\approx 3^\circ$)である。このように角 α, β が小さいときは、 $\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$ や $(1 \pm \alpha^2)^{1/2} \approx 1 \pm \frac{1}{2} \alpha^2$ の近似式が成り立つ。これらの近似式と三角関数の関係式 $\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$ を使って、□(イ)を $\sin \alpha, \sin \beta, d$ を用いて書き改めると、式①は

$$\square(イ) = n \square(カ) \dots\dots \text{②}$$

となる。また明点 P_0 は目盛に光を当てて得られたが、目盛のない部分に光を当てても、反射によって同じ場所に明点が得られるので、 $\angle OQP_0$ と角 α の間に $\angle OQP_0 = \square(イ)$ の関係がある。このことは明点 P_0 の式②の整数 n の値は□(カ)を意味している。ものさしの目盛面を延ばし、 OP_0 との交点を O' とすると、 $\angle OQP_0$ が小さいので $O'Q$ と OP_0 は垂直とみなされ、 $O'Q = L$ と近似できる。従って、 $\sin \beta \approx \tan \beta = O'P_1/L$ である。明点 P_1 について式②を用いて、得られたデータから単色光の波長を計算すると、□(カ) [m] が得られる。

式②から、角 α を少し大きくすることに対し、 P_0 と P_1 の間隔は□(イ) が考えられる。このことはA君の測定結果とも一致している。

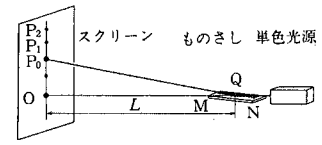


図1

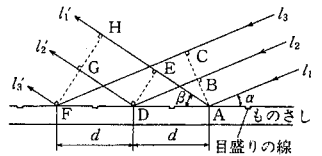


図2

本試:富山大学 二次試験 (物理) **II** (2)

(2) 図1のコンデンサーは、平行板コンデンサーであり、その極板は図3のように一辺の長さが l の正方形で、極板の間隔は d である。時刻 $t = 3T$ においてスイッチを開き、同じく一辺の長さが l の正方形で厚さ $\frac{d}{2}$ の帯電していない金属板を、図のように極板間に極板の端から x だけ挿入した。ただし x は l より小さく d より十分に大きいとする。

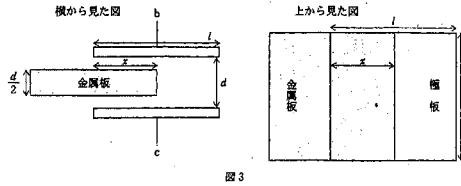


図3

- (a) 金属板を挿入したときの電気力線と正負の電荷の分布の様子を解答欄の図に書き入れよ。
電気力線と電荷の様子は、場所による違いを反映させて書くこと。
- (b) 金属板を x だけ挿入したときのコンデンサーの電気容量を求めよ。
- (c) コンデンサーにたくわえられたエネルギーの減少分だけ、金属に作用した電気力が仕事をしたと仮定して、その力の向きを解答欄の図の金属板に矢印で示し、その力の大きさを求めよ。解き方も示せ。

的中!! 富山大学 直前個別指導 物理 (コンデンサー編)

図3(a)のように、縦 a (m)、横 b (m) の大きさの極板でできた容量が C [F] の平行板コンデンサーがある。極板の間隔は a と b に比べて十分小さいとする。極板はスイッチ S を経て起電力 V [V] の電池につながれている。また、この極板間にぴったり入る比誘電率が ϵ_r ($\epsilon_r > 1$) の誘電体があり、はじめは極板から十分離して置いてある。ただし、空気の誘電率は真空の誘電率に等しいとする。

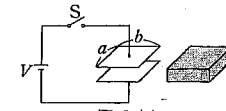


図3(a)

- (1) S を閉じる。このとき、極板には (シ) [C] の電気量が蓄えられる。また、コンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは (ス) [J] である。
- (2) 次に、 S を開いた後、図3(b)のように誘電体を長さ x (m) だけ極板間に入れると、コンデンサーの容量は $C \left\{ 1 + (\epsilon_r - 1) \left(\frac{x}{b} \right) \right\}$ [F] となる。誘電体を入れても極板の電気量は変わらないので、このときコンデンサーに蓄えられる静電エネルギーは $U = (\セ)$ [J] である。 ϵ_r が 1 にきわめて近ければ、 $|y|$ が 1 に比べ非常に小さい場合に成り立つ近似式 $\frac{1}{1+y} \approx 1-y$ を用いることができ、 U は $a \left\{ 1 - \beta \left(\frac{x}{b} \right) \right\}$ の形、すなわち (ソ) [J] と表せる。
- (3) 誘電体を図3(b)の位置からさらに微小距離 Δx (m) だけ入れると、静電エネルギーが U' [J] になったとする。静電エネルギー U と U' の差 $\Delta U = U - U'$ [J] は誘電体に働いている電気力と微小距離の積として表されるので、 ϵ_r が 1 にきわめて近い場合には、誘電体は大きさが (タ) [N] の電気力でコンデンサーの中に引き寄せられる。

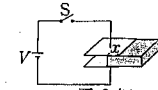


図3(b)