

ヤングの干渉実験 1

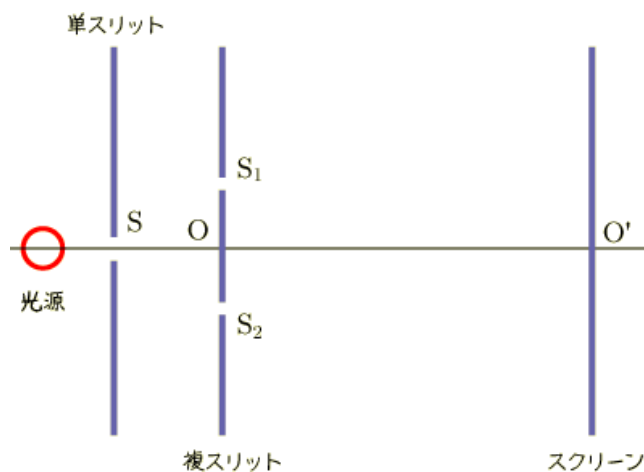
tomo @物理のかぎプロジェクト

2005-01-01

イギリスの物理学者ヤングは、1800 年代初め、光の干渉の性質を示す下のような実験をしました。これは、光が波としての性質を持つことを示す現象の一つです。

ヤングの干渉実験の装置

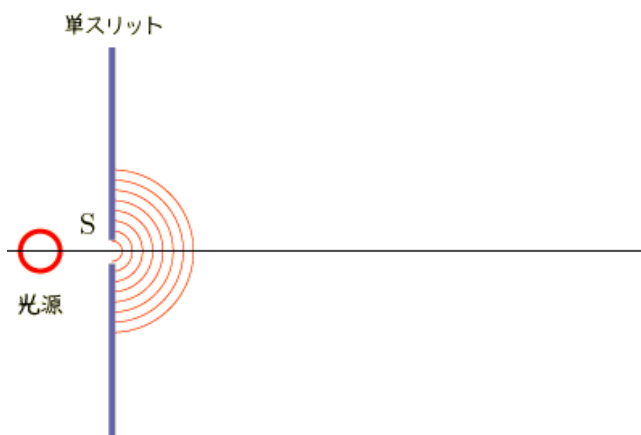
単スリット (S) と複スリット (S_1, S_2)、それにスクリーンを使って、以下のような装置を作り、波長 (λ) の決まった光 (単色光) を通しました。



ここで、 $S_1O = S_2O$, $S_1S_2 \ll OO'$ です。スリット幅 S_1S_2 は光の波長程度です。

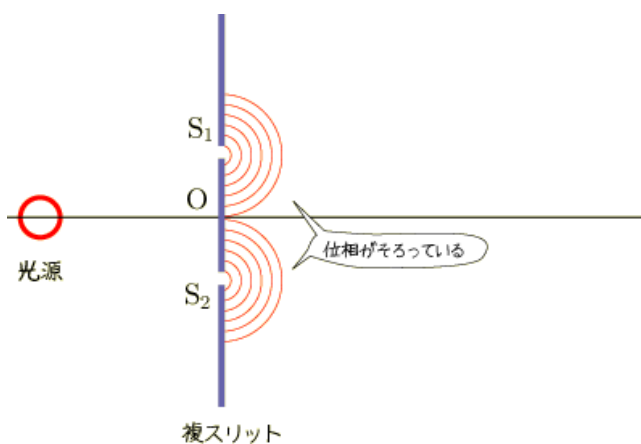
1 つ目のスリット (単スリット)

1 つ目のスリット S を通すことにより、光は以下の図のように進んでいきます (図に示した同心円は、波の山 (または谷) と考えることができます)。



2つ目のスリット (複スリット)

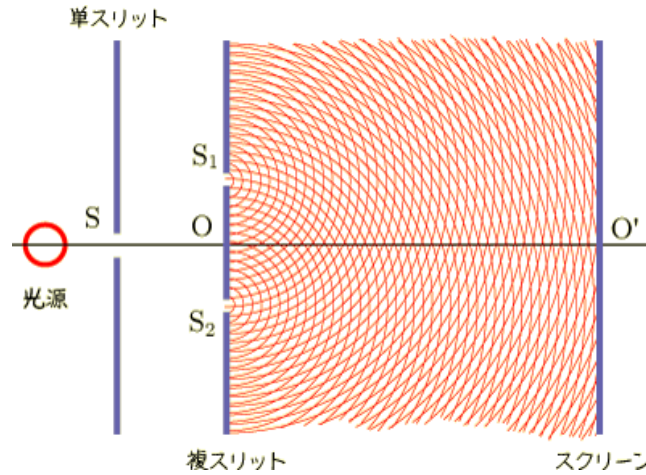
すると、 S_1, S_2 には同位相の光が入ってくるようになります。そして、同位相のまま、スリット S_1, S_2 を抜けていきます。



つまり、 S_1 から波の山が出たときは S_2 から波の山が、 S_1 から波の谷が出たときは S_2 から波の谷が出るということです。

スクリーンに映し出される光の模様を予想

さて、スクリーンに届いた光は、どのような模様を作るでしょうか。ここで予想してみましょう。



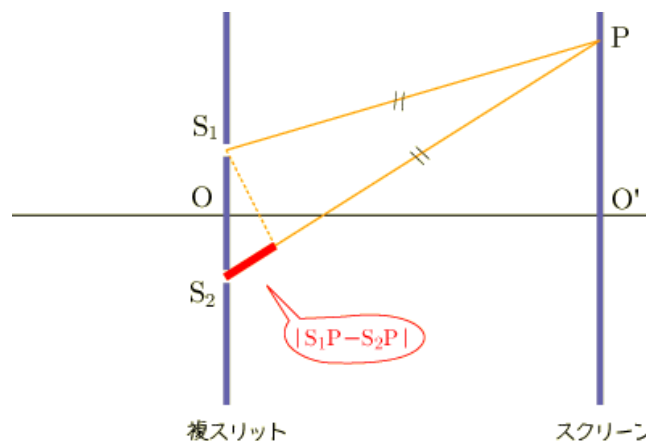
スクリーンでは、 S_1 から出てきた光と、 S_2 から出てきた光が重なることとなります。 S_1 から出てきた光の山と、 S_2 から出てきた光の山が重なると、そこは明るくなります。 S_1 から出てきた光の谷と、 S_2 から出てきた光の谷が重なった場合も同様に明るくなります。逆に、 S_1 から出てきた光の山と、 S_2 から出てきた光の谷が重なった場合、両者は打ち消しあって暗くなります。 S_1 から出てきた光の谷と、 S_2 から出てきた光の山が重なった場合も同様に暗くなります。

ということは、スクリーン上のどこで、(a) 「 S_1 からの光の山と S_2 からの光の山が重なる」、(b) 「 S_1 からの光の谷と S_2 からの光の谷が重なる」、(c) 「 S_1 からの光の山と S_2 からの光の谷が重なる」、(d) 「 S_1 からの光の谷と S_2 からの光の山が重なる」ということが起きるのかを調べればよいですね。

スクリーンに映し出される光の模様

まず、点 O' について考えてみましょう。距離 S_1O' と距離 S_2O' は等しいので、光は同じ距離だけ進んできています。つまり、 S_1 から出た光の山が O' に到達したとき、 S_2 から出た光も、 O' に山が到達していることとなります。ということは、上述の予想から、点 O は明るくなるのが分かります。

では、今度はスクリーン上の任意の点 P について考えてみましょう。 S_1 から出た光と、 S_2 から出た光は、それぞれ距離 S_1P と距離 S_2P だけ進んできています。



$$|S_1P - S_2P| = 1 \cdot \lambda$$

$$|S_1P - S_2P| = 2 \cdot \lambda$$

$$|S_1P - S_2P| = 3 \cdot \lambda$$

...

となっている点では、上述の (a), (b) の場合に相当することが分かります (つまり明るくなります)。 S_1P と S_2P の差が、波長の整数倍になっていますから、一方の光が波の山のときにはもう一方の光も波の山、一方の光が波の谷のときにはもう一方の光も波の谷が到達しているということです。最初に考えた点 O での場合は、

$$|S_1O' - S_2O'| = 0 \cdot \lambda$$

と書くことができますね。また、

$$|S_1P - S_2P| = \left(0 + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$|S_1P - S_2P| = \left(1 + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

$$|S_1P - S_2P| = \left(2 + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

...

となっている点では、上述の (c), (d) の場合に相当することが分かります (つまり暗くなります)。 S_1P と S_2P の差が、波長の半整数倍になっていますから、一方の光が波の山のときにはもう一方の光は波の谷が到達しているということです。

ここで出てきた $|S_1P - S_2P|$ のことを、2つの光の「行路差」と呼びます。

以上をまとめると、以下ようになります。

明るくなる場所

m を整数 ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$) として、

$$|S_1P - S_2P| = m \cdot \lambda \tag{1}$$

と書けるとき、点 P は明るくなります。これを「明線」と呼び、式 (1) を「明線条件式」といいます。

暗くなる場所

m を整数 ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$) として、

$$|S_1P - S_2P| = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \tag{2}$$

と書けるとき、点 P は暗くなります。これを「暗線」と呼び、式 (2) を「暗線条件式」といいます。

まとめ

結果として、スクリーンには O' 中心に上下対象の縞模様（明線と暗線の繰り返し）ができることになります。以下の図は、スクリーンに映し出される縞模様を模式的に描いたものです。

