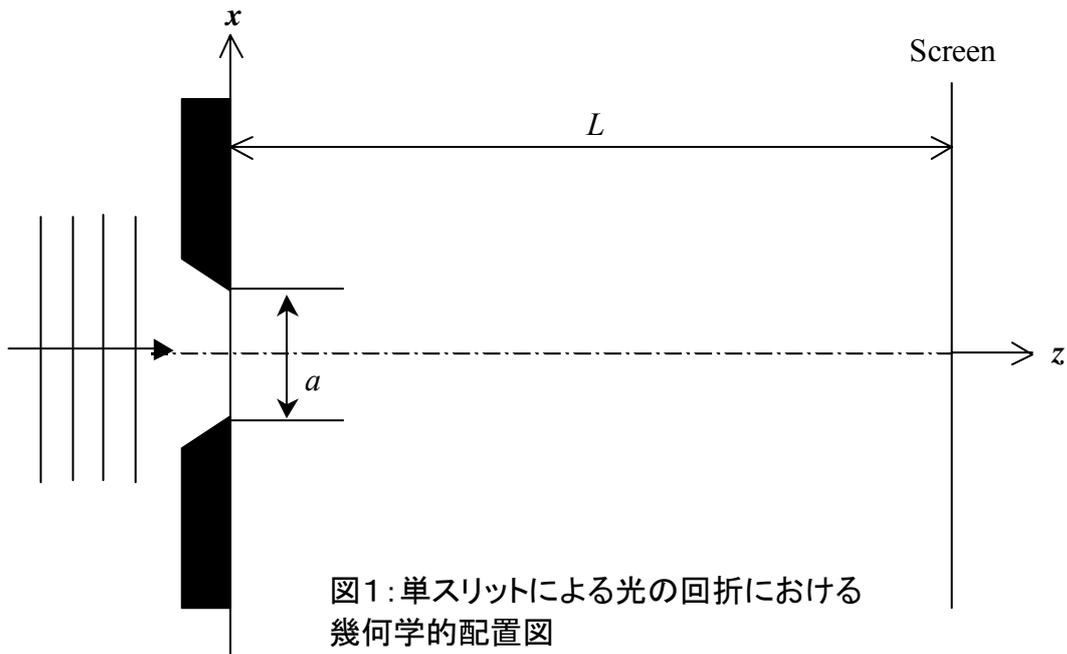


## 実験物理学セミナーの手引き ②

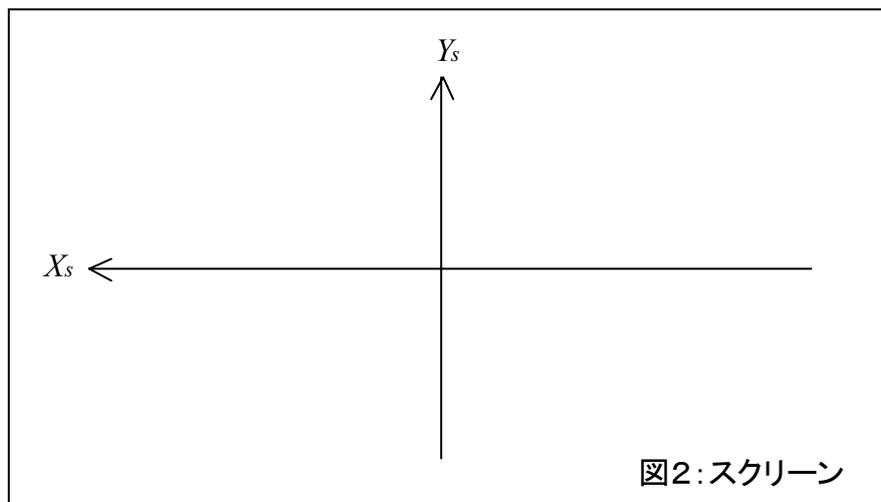
2005/05/11

表面物理研究室 星野

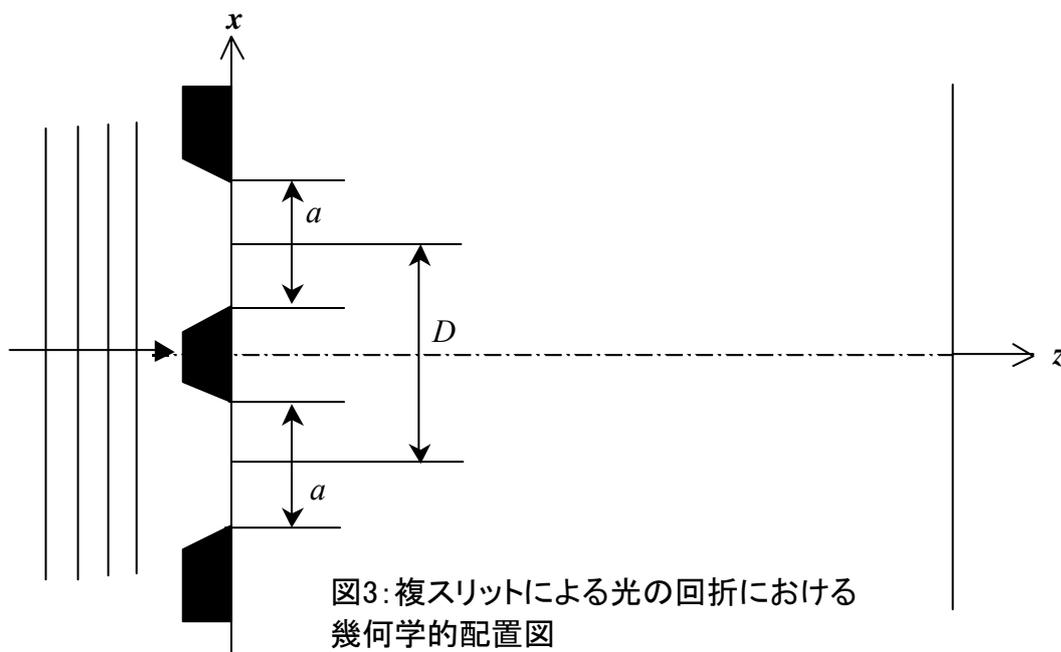
来週の実験の概要を示しましょう。図1に示すような間隔  $a$  の単スリットが1つあります( $y$  方向には十分な長さがあるとしましょう)。このスリットに対して、波長  $\lambda$  の光を  $z$  軸に沿って入射し、 $L$  だけ離れたスクリーン上で回折パターンを観測するとしましょう。



どのような図形がスクリーン上で観測されるか想像できますか? 下のキャンバスをスクリーンだと思って、回折パターンを描いてみてください。



今度は、図3のようなスリット幅  $a$ 、複スリット間隔  $D$  の複スリットの場合、スクリーンにはどのような模様が観測されると思いますか？これも、図2のスクリーンに描いてみましょう。簡単のために、スリット間隔は単スリットのものと同じ  $a$  としましょう。これは、ヤングの実験ですよ！



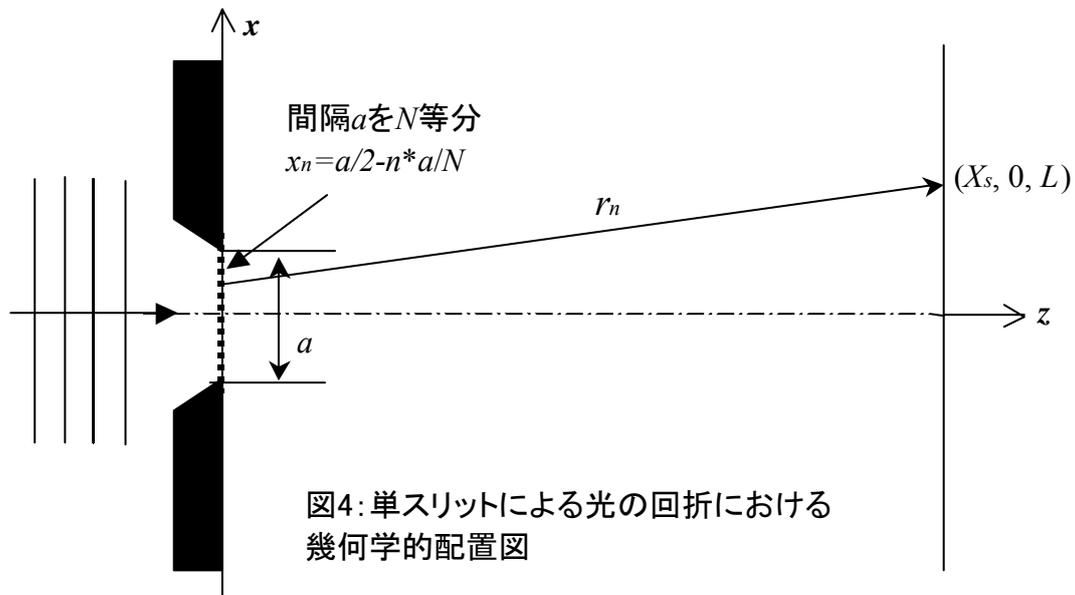
以下このようにして、スリットの数をもっと増やしていくとどのような回折パターンになっていくかきつと帰納できることでしょう。

結局、ここでは「スリットのどの間隔が回折スポットのどのピーク間隔に対応するか」をちゃんと理解することが大切です。これは、先週までの「位相の異なる多くの波を重ね合わせるとパルスができる」ということと大きく関係しています。

『波の回折』をしっかりと理解するために、上に示した思考実験を実際に各自で試してみることが重要になります。来週は、レーザーを用いていろいろな形のスリットに対して、その回折パターンを観測してもらいます。しかしながら、スクリーン上に現れるパターンは、単なる「模様」であって、各スポットがどのくらいの強度なのかはわかりません。

今日は、来週の準備として、スクリーン上にどのような強度で回折パターンが現れるか、シミュレーションにより求めてみましょう。

条件設定は、簡単です。「スリットを  $N$  等分し、その各点が素源となって球面波が出発し、スクリーン上で重なり合う」という条件で計算します。つまり、「Huygens の原理」を使って、シミュレーションする感じになります。



第  $n$  番目の素源点を出発する球面波は、次の式で表されます。

$$u_n(r) = \frac{\exp(-ikr_n)}{r_n}$$

$$r_n = \sqrt{L^2 + (X_s - x_n)^2} \quad (\text{素源点とスクリーンまでの距離})$$

したがって、あるスクリーン上で観測される振幅は  $N$  個分の素源波を足し合わせることとなります。つまり、

$$u(X_s) = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\exp(-ikr_n)}{r_n} \approx \frac{1}{R} \sum_{n=0}^{N-1} \exp(ikr_n)$$

となるわけです。パソコンで計算すれば、簡単ですよ。

どうですか？先週までのキーワードであった「位相差」と「パルスの形成」が、「波の干渉と回折パターンの形成」に結びついたことでしょう。ここでの「位相差」は、スクリーンまでの「光路差」の違いで与えられることとなります。

まず、今日準備する回折格子としては、例えば、

- ① 単スリット(基準間隔:  $a=0.04\text{ cm}$ ,  $L=500\text{ cm}$ ,  $\lambda=$        $\text{cm}$ )
- ② 単スリット(間隔  $a$  を変化)  
間隔  $a$  を①からいくらか変化させて、どのように回折強度が変わるか  
チェックしましょう。(←この変化の仕方を理解することが、今日の一番  
重要な所です!)
- ③ ②がしっかりと理解できたら、複スリットにしましょう。スリットの間隔は  
①と同じ  $a=0.04\text{cm}$  のままにして、複スリット間隔  $D=0.2\text{ cm}$  程度にして見ま  
しょう。
- ④ ②と同様に、今度は  $D$  の値を変化させると、強度分布はどのように変化する  
でしょうか?
- ⑤ 両辺  $a$  の矩形単スリットでは、どのようになるでしょう?
- ⑥ いっぱいのスリットを用意して、今度は  $a$  の値を十分に小さく取れば、いわ  
ゆる「回折格子」になります。

系統的に、いろいろと見ていくと、どの値とピークのどの幅が対応している  
かだんだんわかってきます。

課題 1: 図 4 に示したような単スリットに関する強度分布を、シミュレーショ  
ンすると、上の①で得られたようになります。スクリーン上で、強度がゼロに  
なる点がいくつか等間隔に現れていることがわかると思います。この「暗線の  
位置」と「光路差」および「波長」の関係を調べてください。

課題 2: 計算機で行ったシミュレーションのアルゴリズムを見ると、単スリッ  
トに関する回折強度関数は、解析的にも(手と鉛筆で)計算できそうな感じがしま  
せんか? 単に、スリット間隔  $a$  を  $N$  等分して、和とるだけですから…。波動に  
関する教科書には、絶対に載っている式が出てきます。適当な近似(テーラー展  
開の 2 次までとって)を使って、回折関数を導出してみてください。①のシミュ  
レーションで得られたものと完全に一致するものが得られますよ。

答えは、
$$I(X_s) = \left| a \frac{\sin \frac{kX_s}{2L}}{\frac{kX_s}{2L}} \right|^2 = \left| a \frac{\sin \beta}{\beta} \right|^2$$
 という形です!