

## 1. 目的

物理学の最も基本的な定数のひとつである光速度を測定する。

## 2. 原理

半導体レーザーに周期的に電圧をかけてパルス発光させる。光検出器の pin フォトダイオードから出力される電気パルスをオシロスコープで観測することによって、約 3 メートルの距離を往復させて光検出器に到達した光と直近で反射させたものとの間にある光路差  $L$  とそれによって生じた到達時間差  $T$  を求め、 $c = \frac{L}{T}$  から光速度を求める。当然半導体レーザーにかかる電流の周期は  $T$  よりも長くしなければならない。

## 3. 方法

### ① 光速度測定の手順

- 装置同士をつなぐ配線がテキスト図 10.8 どおりであることを確認した。
- 備え付けの説明書に従って装置の電源を入れ、半導体レーザーから連続光を出した。
- 実験装置が図 10.5 の通りになるようにテキストに従って各装置の位置や角度などを調整した。
- 備え付けの説明書に従って半導体レーザーを光パルスにした。
- オシロスコープで 2 つのパルスが測定できたところで、その時間間隔  $T$  を測定した。
- 光路差を計算するために図 10.9 にあるように  $d_1, d_2, d_3, l_0, l_1$  を巻尺で測定した。
- 光路差  $L$  を次式より  $n = 1.5$  として計算し求めた。 $L = d_1 + d_2 - d_3 + n(l_0 - l_1) + l_1$
- 光速度を  $L = \frac{L}{T}$  で計算した。
- 光路  $d_2$  に水の入ったガラス管を挿入して、上記の手順を繰り返して、時間間隔  $T'$  を測定した。水を挿入した事による遅延時間  $t = T' - T$ 、ガラス管の長さを  $l$  とおくと、水の屈折率はテキストより次式のよう表せるのでその値を計算した。 $n = 1 + \frac{ct}{l}$

### ② 同軸ケーブルを伝わる信号速度の測定

- 備え付けの説明書を参照しながら装置を図 10.10 の通りになるように配線をつないだ。
- オシロスコープ、パルス発生器の順に電源を入れた。
- 直接来たパルスと同軸ケーブル終端で反射して生じたパルスとのあいだの時間間隔  $T$  を測定した。
- 同軸ケーブルを取り外しその長さ  $L$  を測定した。信号の速さ  $v$  を  $v = \frac{2L}{T}$  より計算して求めた。

## 4. 実験結果

オシロスコープの波形を書いたグラフはレポート末尾に添付してある。

その他の結果は以下の表の通りである。

表 1 光速度の測定

|       |     | 1 回目               | 2 回目               |
|-------|-----|--------------------|--------------------|
| T     | ns  | 17.2               | 14.55              |
| $d_1$ | mm  | 2613.9             | 1977.4             |
| $d_2$ | mm  | 3062.6             | 2425.3             |
| $d_3$ | mm  | 463.8              | 465.0              |
| $l_0$ | mm  | 180.0              | 180.0              |
| $l_1$ | mm  | 129.1              | 129.1              |
| L     | mm  | 5418.15            | 4143.15            |
| c     | m/s | $3.15 \times 10^8$ | $2.85 \times 10^8$ |
| $T'$  | ns  | 18.6               | 17.00              |
| t     | ns  | 1.4                | 2.5                |
| l     | mm  | 503.5              | 503.7              |

|                |  |                    |                    |
|----------------|--|--------------------|--------------------|
| n              |  | 1.88               | 2.39               |
| $\Delta L$ mm  |  | 0.1                | 0.1                |
| $\Delta T$ ns  |  | 0.1                | 0.05               |
| $\Delta c$ m/s |  | $1.83 \times 10^6$ | $9.79 \times 10^5$ |
| 相対誤差           |  | 0.58%              | 0.34%              |
| $\Delta t$ Ns  |  | 0.1                | 0.05               |
| $\Delta l$ mm  |  | 0.1                | 0.1                |
| $\Delta n$     |  | $6.28 \times 10^2$ | $2.87 \times 10^2$ |
| 相対誤差           |  | 3.35%              | 1.20%              |

表 2 同軸ケーブルを伝わる信号速度の測定

|                | 1 回目               | 2 回目               |
|----------------|--------------------|--------------------|
| T mm           | 52.2               | 6.00               |
| L mm           | 5051.0             | 515.0              |
| v m/s          | $1.94 \times 10^8$ | $1.72 \times 10^8$ |
| $\Delta L$ mm  | 0.1                | 0.1                |
| $\Delta T$ ns  | 0.1                | 0.1                |
| $\Delta v$ m/s | $3.71 \times 10^5$ | $2.86 \times 10^6$ |
| 相対誤差           | 0.19%              | 1.67%              |

## 5. 考察

- ① 同軸ケーブルを伝わる信号の速度が光速よりも遅くなる理由な何か考えよ。

真空や空気中などとは異なり、同軸ケーブルというものの中を進んでいるので水やガラスのように屈折率のような数値が存在しているのかと一瞬思ったが、そうだとすると銅線を伝播する電流の速度が光速度と一致することと矛盾することに気がついた。

調べたところ、同軸ケーブルの構造中にある誘導体が内部導体(銅線)を伝わる信号に影響を与えて銅線内を伝わる信号の波長を誘導体の $\sqrt{\epsilon}$ 倍( $\epsilon$ は内部導体と誘導体の比誘電率)になるためとわかった。

- ② 大気圧、室温における空気の屈折率 $n = 1.00028$ であるが、今回の光速度の測定実験において“空気中”であって“真空中”ではないことを考慮する必要があるか。

計測した数値を見ると、測定値の有効数字は T で 3 桁ないし 4 桁、t にいたっては 2 桁である。よって、この空気の屈折率 1.00028 は有効数字 5 桁目から 1 と異なるが光路差を出すときに $d_1, d_2, d_3, l_0, l_1$ などにかけたところで計算結果に影響をあたえるようなものではない。よって、今回の実験において“空気中”であることは考慮に値しない。

- ③ 測定で苦労したことや戸惑ったこと

まず、手順①v.でふたつのパルスが観測されたときに T を測定するとあったが、何をもって測定できたとするのかという判断に戸惑い無駄に時間を費やしてしまった。

次に、①vi.で $d_1, d_2, d_3, l_0, l_1$ の測定に用いた巻尺の状態が非常に悪かったことが気になった。あの程度のもので十分という判断があるのかもしれないが、最小目盛の十分の一まで読むという測定作業に全く意味を感じなかった。 $\Delta d_1$ や $\Delta l$ などを 0.1mm とまとめた状態であれば判断して良いと思いそうおいて計算したが、折れ曲がっていたり歪んでいたりする巻尺による測定でそのような精度があるはずもないとは思う。むしろ、目盛がどうこうというまえにあの巻尺の製造時にどのような精度で作られているかというほうが影響してくるように思った。

そして、②iii.でどの結果が反射してとどいたものなのかという判断にも少し迷った。あまりにもひどい

結果にならないものを選んだが、こういう手法は正しくないと思った。

④ 実験を終えての感想

おおよそ②に書いてしまったように思う。最初の段階で出遅れた分かなり終了時間が延びてしまった。物理実験は化学実験と異なりあまり実験時間にうるさくないように思う。余裕があればいくらでも時間を延長して結果を取ることができるというのは良いのかもしれない。予習不足が大いに考えられるし実際にそうであった自覚はあるが、他教科の履修に影響しかねないのでもう少し配慮があっても良いように思う。