

-物理-

-後期中間-

1 音波

音波… 音は, 空気中 (または水中など) を縦波として伝わります. 音が空気中で速さは, $(331.5+0.61t)[\text{m/s}]$ です (t は空気の色氏温度). 常温 ($10 \sim 20^\circ\text{C}$) では, およそ $340[\text{m/s}]$ です.

2 音の三要素

1. 音の高さ (振動数)
2. 音の強さ (エネルギー)
3. 音色 (波形)

2.1 音の高さ

可聴音… 人間に聞き取れる範囲の音で, 振動数が $20[\text{Hz}] \sim 20[\text{kHz}]$ までの音です. モスキート音は, $17[\text{kHz}]$ 前後です.

超低周波音… 振動数 $20[\text{Hz}]$ 未満の音波です.

超音波… 振動数が $20[\text{kHz}]$ より大きい音波です. 人間には聞こえないので混乱しません.

ちなみに, 1 オクターブ上になると振動数は 2 倍になります.

2.2 音の強さ

音の強さ… $1[\text{m}^2]$ の面を 1 秒間に通過するエネルギーで表します. 単位は $[\text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]=[\text{W}/\text{m}^2]$ です.

2.3 音色

音色… 同じ高さで同じ強さの音でも, 楽器によって違った音に聞こえますよね. これは音色が違うためです. 実は波形が少し違うため, 違う音に聞こえているのです.

3 うなり

うなり … 僅かに振動数が異なる音が重なり合って、その合成音が強弱を繰り返す現象です。うねりではありません。

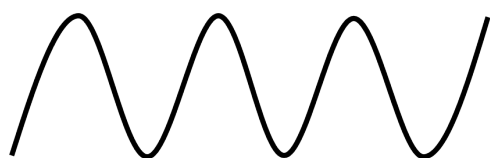


図1 波 A

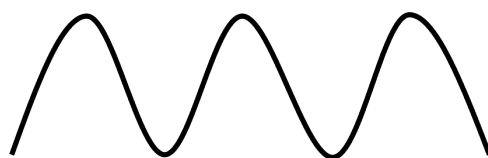


図2 波 B

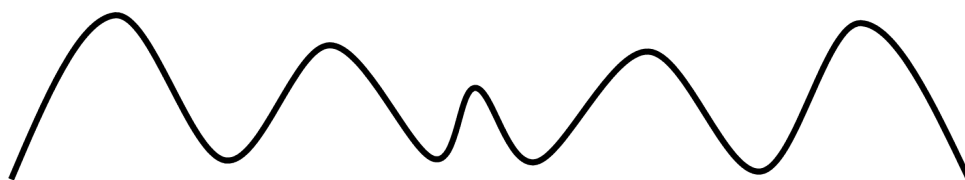


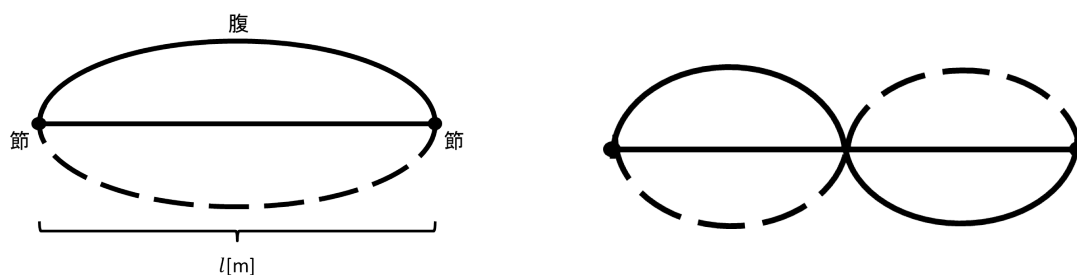
図3 合成波

2つの波が強め合うところでは音が大きく、弱め合う所では音が小さくなります。合成波の一番高い山から一番高い山までが、うなりの周期です。

うなりの周波数 … $f_{\text{うなり}} = |f_A - f_B|$ です。

4 弦の固有振動

長さ l [m] の弦を弾くと、定常波ができます。腹が 1 個の時、定常波の波長は $2l$ [m]、2 個の時、 l [m] になります。



一般に、腹が n 個の時、 $\lambda_n = \frac{2l}{n}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) です。また、 $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2l} = n f_1$ です。
 f_n を固有振動数、 f_1 を基本振動数といいます。

4.1 弦を伝わる波の速さ

波の速さは、弦の張力 S [N] と線密度 σ [kg/m] で決まります。

線密度 … 細いものの密度を表すやり方です。単位長さあたりどれだけの質量があるかを表し、質量を m [kg]、長さを l [m] とすると、 $\sigma = \frac{m}{l}$ です。

単位合わせの計算 (割愛) をすると、以下の式が導かれます。

$$v = \frac{S}{\sigma}$$

5 気柱の固有振動

弦の振動は両方が固定端でしたが、気柱は片方または両方が自由端です。

閉管 … 試験管のように、一端が閉じている管のことです。

一般に n 倍振動の時、

$$\lambda_n = \frac{4l}{n} \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

$$f_n = n \frac{v}{4l} = n f_1 \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

となります。また、閉管では、基本振動の奇数倍の振動しか発生しません。

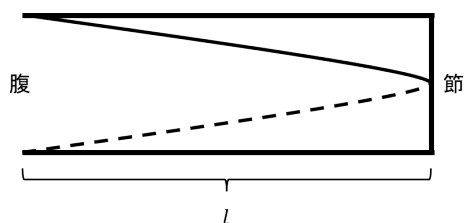


図4 閉管

開管 … 両端が開いている管のことです。

一般に n 倍振動の時、

$$\lambda_n = \frac{2l}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$f_n = n \frac{v}{2l} = n f_1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

となります。

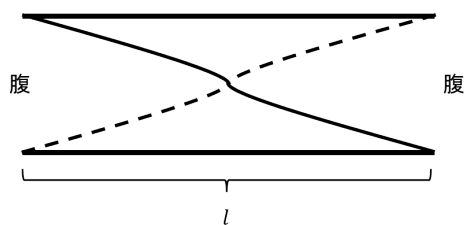


図5 開管

共振 … 物体に固有振動数と同じ振動数の振動が外から加わると、その振動が非常に大きくなる現象のことです。要はワイングラスを割るやつです。音を発する物体では、共鳴ともいいます。

6 ドップラー効果

ドップラー効果…音を出す側、あるいは聞く側が運動している時、聞こえる音の周波数が本来のものとは異なる現象です。救急車が有名ですね。

以下の説明では、

- v_s :音源 S が動く速さ
- v_o :観測者 O が動く速さ
- V :音速
- f :本来の振動数
- λ' :聞こえる音の波長
- f' :聞こえる音の周波数

とします。

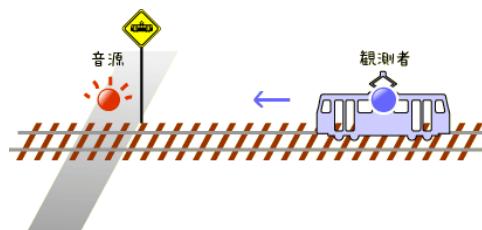
6.1 音源が運動し、観測者が静止している場合

$$\lambda' = \frac{V - v_s}{f}, \quad f' = \frac{V}{V - v_s} f$$



6.2 音源が静止し、観測者が運動している場合

$$\lambda' = \frac{V - v_o}{f}, \quad f' = \frac{V - v_o}{V} f$$



6.3 両方が動く場合

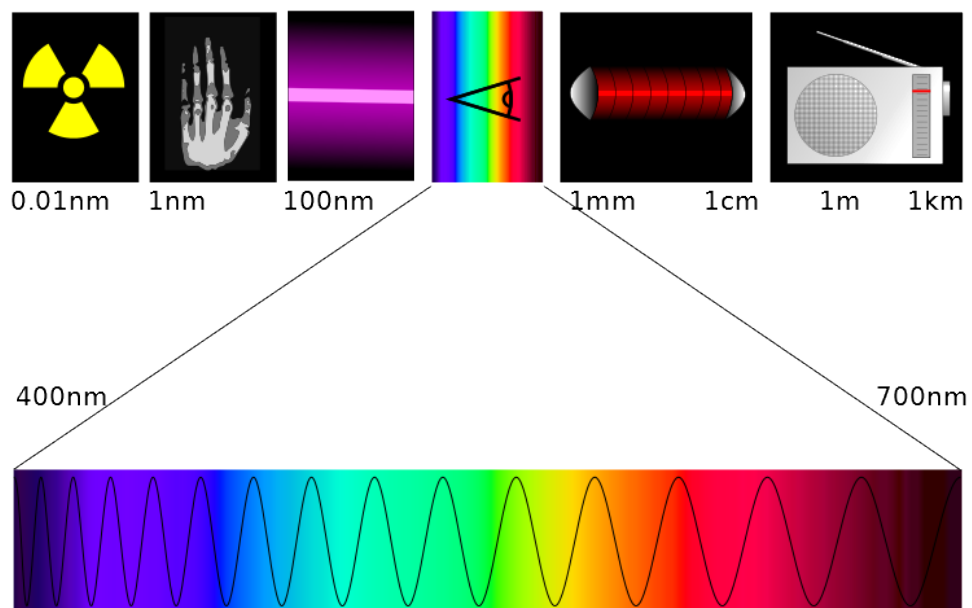
2つの組み合わせです。

$$f' = \frac{V - v_o}{V - v_s} f$$

7 光波

光には波の性質がありますが、真空中でも (媒質がなくても) 伝わります。

真空中での光速は、 c で表し、 $c \cong 3.0 \times 10^8$ [m/s] です。およそ 30 万 km です。1 秒で地球を 7 周半できます。



532nm... 緑色レーザーの波長

405nm... 青紫レーザーの波長

800nm... 近赤外線レーザーの波長

8 光の反射と屈折

基本的には他の波と変わらないので、その部分は割愛します。

絶対屈折率… 真空に対する屈折率です。単に屈折率ともいいます。

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda'}, \quad v = \frac{c}{n}, \quad \lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

9 光の全反射

ここも他の波と変わらないので、基本部分は割愛します。

真空から他の媒質に入るときの全反射について考えます。

$$\sin i_c = \frac{v}{c} = \frac{1}{n}$$

10 光路長

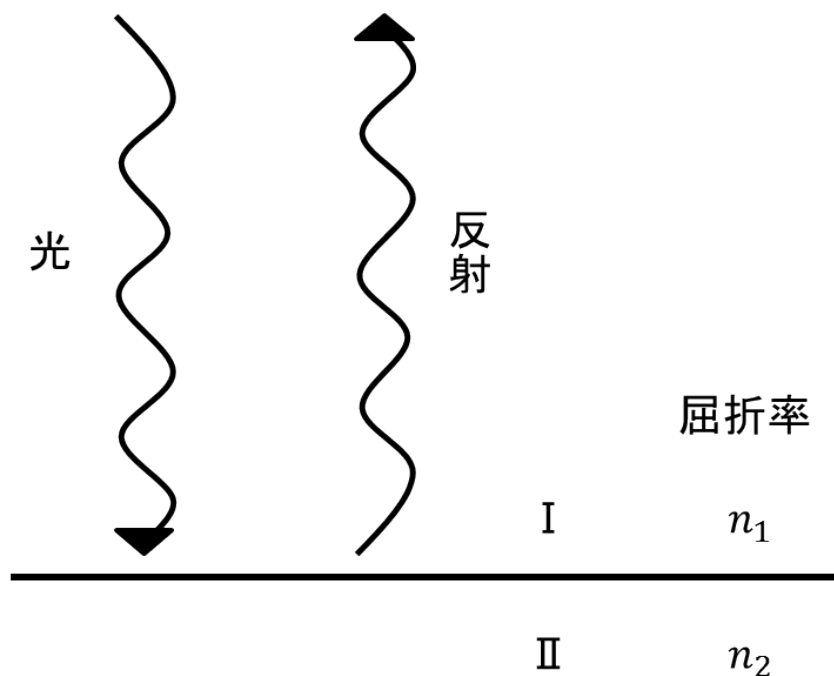
光路長… 距離 l を進むのにかかる時間 t は、 $\frac{l}{v} = \frac{nl}{c}$ です。この時間の間にもし真空中ならこれだけ進んでいた、というのが光路長です。

$$ct = c \cdot \frac{nl}{c} = nl$$

より、光路長は nl で表されます。

真空	屈折率 n の媒質	真空
c, λ	v, λ'	c, λ
	← 距離 l →	

11 反射による光の位相の変化



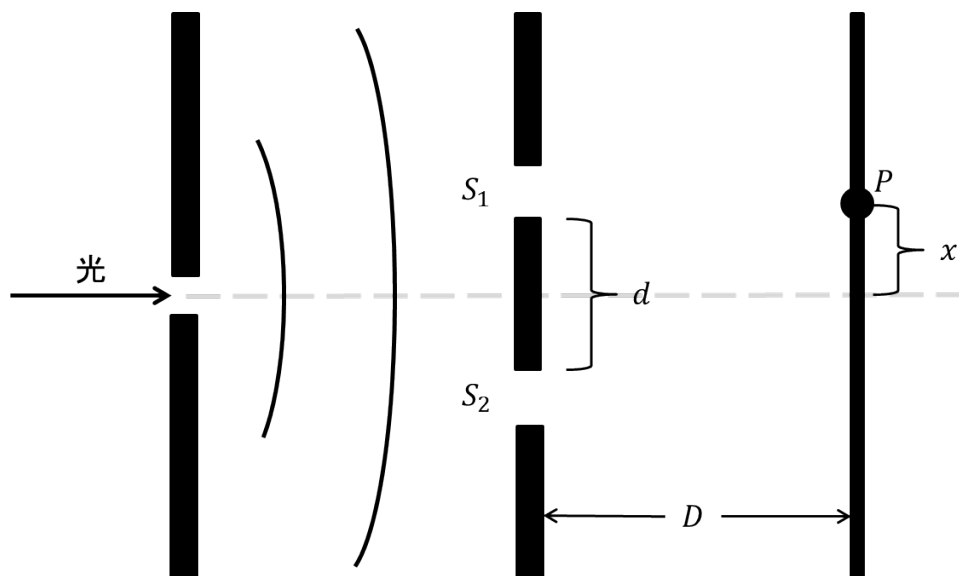
11.1 $n_1 < n_2$ の場合

I... 光学的に疎 ⇒ 境界は固定端となり、波の位相は π 変化
II... 光学的に密

11.2 $n_1 > n_2$ の場合

I... 光学的に密 ⇒ 境界は自由端となり、波の位相は変化しない
II... 光学的に疎

12 ヤングの干渉実験



2つのスリット S_1, S_2 を出た光が、場所によって強め合ったり弱め合ったりします。その結果、スクリーン上に縞模様 (干渉縞) が現れます。

$$\frac{xd}{D} = \begin{cases} m\lambda & \text{強め合う} \\ (m + \frac{1}{2})\lambda & \text{弱め合う} \end{cases}, \quad x = \begin{cases} m\frac{\lambda D}{d} & \text{明線} \\ (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d} & \text{暗線} \end{cases}$$

明線, 暗線... スクリーン上で明るいのが明線, 暗いのが暗線です。スリットを抜けると光が線状になるのでこう呼ばれます。

13 回折格子

回折格子 … 両面が平らなガラス板の片面に、1[mm]あたり 50~1000 本の割合で等間隔に直線状の溝をつけたものです。性質上は、細長いスリットを等間隔に沢山並べたものと同じになります。

格子定数 … 回折格子の、隣り合う溝同士の距離のことです。

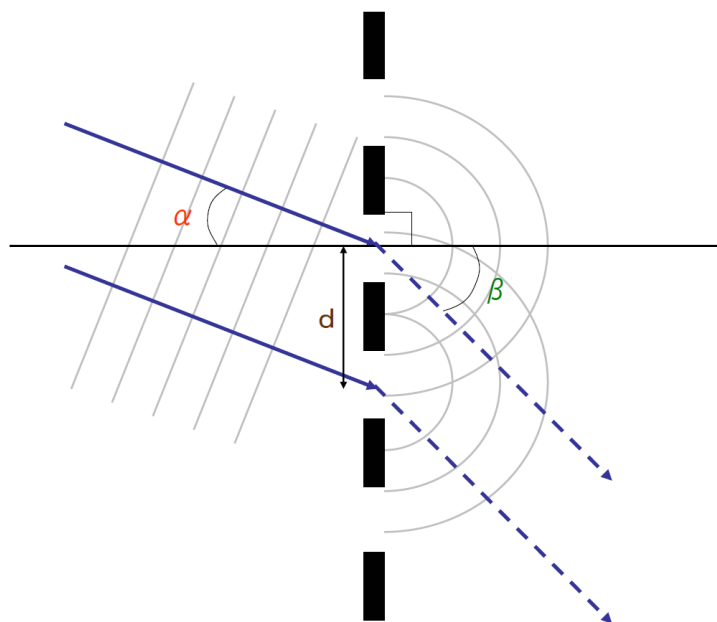
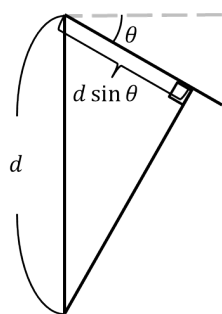


図6 回折格子を通る光の軌跡

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9B%9E%E6%8A%98%E6%A0%BC%E5%AD%90> より

ここでは、角度 θ の方向に進む光について考えます。



左図より、隣り合う光同士の経路差は $d \sin \theta$ となることが分かります。

この2つの光が強め合う条件は、 $d \sin \theta = m \lambda$ (m は整数) であることです。

また、 m の絶対値によって、強め合った光を m 次のスペクトルといいます。位置によっては m が負になることもあるので、絶対値で扱います。

14 薄膜による光の干渉

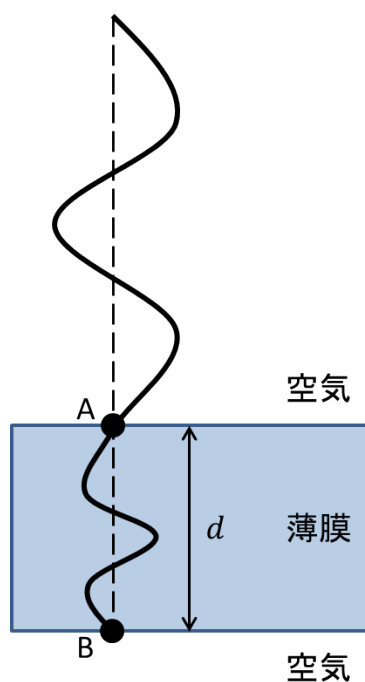
水面の油膜やシャボン玉を見ると、色が付いているように見えますよね。これは薄膜の表面で反射した光と裏面(奥)で反射した光が干渉しているからです。

屈折率 n , 厚さ d の薄膜を考えましょう。

光がこの薄膜に垂直に入射した時、

- 薄膜の表面で反射する光
- 薄膜の奥で反射する光
- 薄膜を通過する光

の3つが生まれます。このうち、上の2つについて考えます。



B で反射した光は、薄膜の厚さ分光路長が長くなります。光路長の公式より、その差は $2nd$ です。

また、A は光学的に疎な物質から密な物質に向かうときの反射で、B はその逆です。つまり、A での反射は位相が π [rad] 変化し、B での反射は変化しません。そのため、2つの光の位相には π [rad] の差が生まれます。

位相差 π [rad] は、隣り合う山と谷の間隔、つまり $\frac{\lambda}{2}$ の光路長に相当しますので、全体としての光路差 Δ は、

$$\Delta = 2nd + \frac{\lambda}{2}$$

となります。

強め合い、弱め合いの条件 (ヤングの干渉実験を参照) によって、 $d = m\frac{\lambda}{2n}$ を満たす時に反射光が暗く、

$d = (m + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2n}$ を満たす時に反射光が明るくなります。

参考文献

[1] 高専の物理

[2] 物理のかぎしっぽ

<http://hooktail.sub.jp/wave/dopplerEffect1>

<http://hooktail.sub.jp/wave/dopplerEffect2>