

PHYSICS WORKBOOK 03

波動 問題集

波動で落とす原因は2つしかない。**y-xグラフとy-tグラフの取り違え**と、**反射での位相の π ずれの見落とし**。48問すべて、この2点を毎回確かめながら解く。干渉は必ず**経路差を出してから**条件式に入れること。

使い方

1周目 5分考えて出なければ解説へ。グラフ問題は**横軸のラベルを丸で囲んでから**読む。

2周目 翌日か翌々日。干渉は「どことどの道のりの差か」を図に書き込む。

3周目 本番の速さで。1問2分。○ がつかない問題だけ参考書に戻る。

音速はことわりがなければ 340 m/s、光速は 3.0×10^8 m/s とする。

1章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

2章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

3章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

4章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

5章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

6章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

7章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

8章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

問題編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

角度は**法線**から測る。干渉の条件は**経路差**から立てる。

波の基本量とグラフ

記号の約束

y 変位 [m] A 振幅 [m] λ 波長 [m] T 周期 [s] f 振動数 [Hz] v 波の速さ [m/s] x 位置 [m] t 時刻 [s]

この章で使う武器

- $v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$ 、 $f = \frac{1}{T}$
- y - x グラフ=ある瞬間の写真（ λ が読める） / y - t グラフ=ある1点の日記（ T が読める）
- 媒質はその場で振動するだけ。波は進むが媒質は進まない
- 媒質が次にどちらへ動くかは、波形を進行方向に少しずらして高さの変化を見る

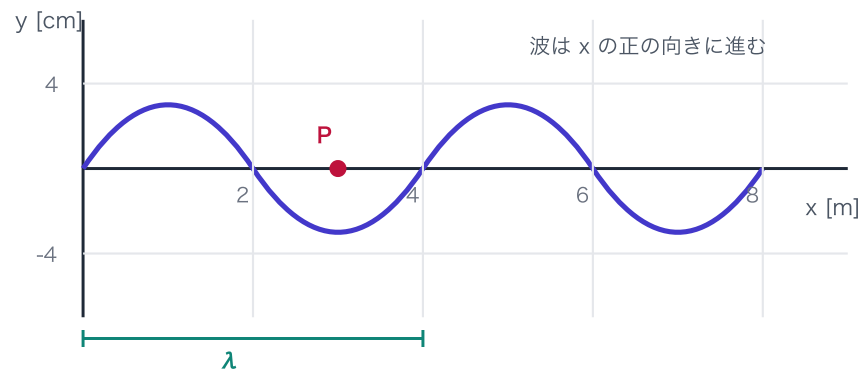
1-1 基本式 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

次の問いに答えよ。

1. 振動数 5.0 Hz、波長 0.60 m の波の速さを求めよ。
2. この波の周期を求めよ。

次の図は、 x 軸の正の向きに進む波のある瞬間の波形（ y - x グラフ）である。この波の速さは 2.0 m/s である。



1. この波の波長と振幅を求めよ。
2. この波の振動数と周期を求めよ。
3. 図の点Pにある媒質は、この直後どちら向きに動くか。

1-3 2つのグラフ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

y-xグラフと y-tグラフについて答えよ。

1. それぞれのグラフから直接読み取れる量を答えよ。
2. 同じ波について、両方のグラフの縦軸の最大値は等しいか。
3. 波の進む向きは、どちらのグラフから読めるか。

1-4 距離と時間 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

速さ 4.0 m/s、波長 2.0 m の波がある。

1. 周期を求めよ。
2. 3.0 秒間に波は何 m 進むか。
3. 3.0 秒間に、媒質の1点は何回振動するか。

1-5 横波と縦波 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

横波と縦波について答えよ。

1. 横波・縦波とはそれぞれどのような波か、振動の向きで説明せよ。
2. 音波はどちらか。
3. 縦波を横波のようなグラフで表すとき、縦軸は何を表しているか。

1-6 重ね合わせ ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ大きさの2つのパルス波が、逆向きに進んで出会う。

1. 山と山が完全に重なった瞬間の変位は、もとの何倍か。
2. 山と谷が完全に重なった瞬間の変位はどうなるか。
3. 重なったあと、それぞれの波はどうなるか。

重ね合わせと定常波

記号の約束

腹 もっとも大きく振動する点 節 まったく振動しない点 λ もとの波の波長 [m] L 弦や気柱の長さ [m]

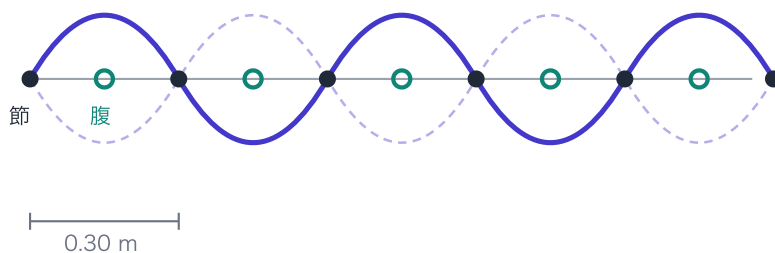
この章で使う武器

- 定常波：節と節の間隔 $= \lambda/2$ 、腹と腹も $\lambda/2$ 、節と隣の腹は $\lambda/4$
- 固定端反射 = 位相が π ずれる（端は節） / 自由端反射 = 位相はそのまま（端は腹）
- 定常波は進まず、エネルギーも運ばない
- 弦（両端固定）： $\lambda = \frac{2L}{n}$

2-1 間隔 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

次の図は、ある定常波のようすである。●が節、○が腹を表す。



- この定常波のもとの波の波長を求めよ。
- 腹と隣の節の間隔を求めよ。

2-2 反射 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

波が壁で反射して定常波ができた。

1. 壁が固定端のとき、壁の位置は節と腹のどちらか。理由も述べよ。
2. 壁が自由端のときはどうか。
3. 固定端反射では、反射波の位相はどうなるか。

2-3 弦 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ 0.60 m の弦の両端を固定して振動させる。弦を伝わる波の速さは 120 m/s である。

1. 基本振動の波長と振動数を求めよ。
2. 2倍振動の振動数を求めよ。
3. このとき弦にできる節の数（両端を含む）を答えよ。

2-4 倍振動 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

両端を固定した弦について答えよ。

1. n 倍振動の波長を、弦の長さ L を使って表せ。
2. n 倍振動の振動数は、基本振動の何倍か。
3. 弦の張力を4倍にすると、基本振動の振動数は何倍になるか。(弦を伝わる速さは張力の平方根に比例する)

2-5 作図 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

右向きに進むパルス波が、壁で反射する場合について答えよ。

1. 固定端で反射した波を描く手順を説明せよ。
2. 自由端の場合はどう違うか。
3. 反射波と入射波が重なっている領域では、どうやって波形を求めるか。

定常波の性質について答えよ。

1. 定常波は左右のどちらに進むか。
2. 定常波はエネルギーを運ぶか。
3. 腹の位置にある媒質は、つねに大きく変位しているか。

音波と共鳴

記号の約束

V 音速 [m/s] L 弦・気柱の長さ [m] n 何倍振動か Δ 開口端補正 [m] f_1, f_2 うなりをつくる2音の振動数 [Hz]

この章で使う武器

- 音速 $V = 331.5 + 0.6t$ (t は $^{\circ}\text{C}$)。ことわりがなければ 340 m/s
- 弦・開管： $\lambda = \frac{2L}{n}$ (すべての整数倍) / 閉管： $\lambda = \frac{4L}{2n-1}$ (奇数倍のみ)
- うなりの回数 $= |f_1 - f_2|$
- 気柱共鳴の実験では、**2つの共鳴位置の差が $\lambda/2$** (開口端補正が消える)

3-1 音速 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

空気中の音速について答えよ。 $V = 331.5 + 0.6t$ とする。

1. 気温 20°C のときの音速を求めよ。
2. この音速で、振動数 500 Hz の音の波長を求めよ。

3-2 閉管 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ 0.85 m の閉管（片方が閉じた管）がある。音速を 340 m/s とする。

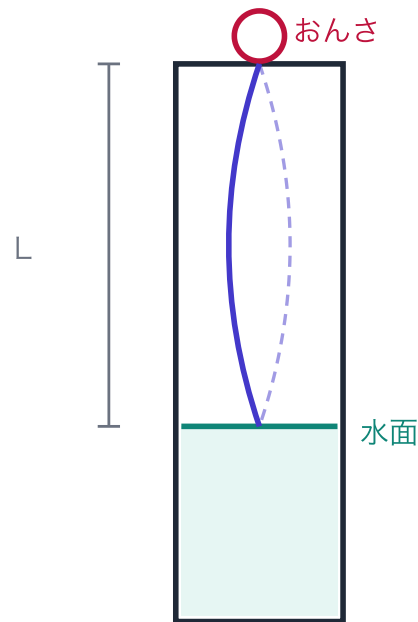
1. 基本振動の波長と振動数を求めよ。
2. 次に共鳴する振動数を求めよ。
3. この管で 2倍振動が起こらないのはなぜか。

3-3 開管 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

長さ 0.50 m の開管（両端が開いた管）について、音速を 340 m/s としして答えよ。

1. 基本振動の振動数を求めよ。
2. 3倍振動の振動数を求めよ。

ガラス管に水を入れ、水面を下げながらおんさを鳴らして共鳴する位置を調べた。管口から水面までの長さが 0.16 m と 0.50 m のときに共鳴した。



水面を下げていくと、共鳴する位置が現れる

1. この音の波長を求めよ。
2. おんさの振動数を求めよ。(音速 340 m/s)
3. 開口端補正の大きさを求めよ。

3-5 うなり ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

振動数 440 Hz のおんさAと、振動数のわからないおんさBを同時に鳴らすと、1秒間に 3 回のうなりが聞こえた。

1. おんさBの振動数として考えられる値をすべて答えよ。
2. おんさBに少し粘土を付けて重くしたところ、うなりの回数が増えた。Bの振動数はもとはいくらだったか。

3-6 弦の音 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

弦楽器について答えよ。

1. 弦を指で押さえて長さを半分にすると、基本振動の振動数は何倍になるか。
2. 弦を強く張ると音は高くなるか低くなるか。
3. 太い弦と細い弦では、同じ張力ならどちらが低い音か。

ドップラー効果

記号の約束

f 音源が出す振動数 [Hz] f' 観測者が聞く振動数 [Hz] V 音速 [m/s] v_s 音源の速度 [m/s] v_o 観測者の速度 [m/s]

この章で使う武器

- $f' = f \frac{V - v_o}{V - v_s}$ (正の向きは「音源 → 観測者」)
- 近づけば高い・遠ざかれば低いで必ず検算する
- 反射板は「①壁が聞く ②壁が音源になる」の2段階
- 音源が動くと波長が変わる／観測者が動いても波長は変わらない

4-1 音源が動く ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

振動数 800 Hz のサイレンを鳴らす車が、静止した観測者に向かって 20 m/s で近づいている。音速を 340 m/s とする。

1. 観測者が聞く音の振動数を求めよ。
2. 車が観測者の前を通り過ぎたあと、聞こえる振動数を求めよ。

4-2 観測者が動く ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

静止した音源が 500 Hz の音を出している。観測者が音源に向かって 34 m/s で近づく。音速を 340 m/s とする。

1. 観測者が聞く振動数を求めよ。
2. このとき、観測者のところを通る音の波長は変化しているか。

4-3 両方動く ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

振動数 600 Hz の音源が 20 m/s で右へ、その右前方にいる観測者も 10 m/s で右へ動いている。音速を 340 m/s とする。

1. 観測者が聞く振動数を求めよ。
2. もとの音より高いか低いか、理由とともに答えよ。

4-4 反射板 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

振動数 500 Hz の音源が、静止した壁に向かって 20 m/s で近づきながら音を出している。音速を 340 m/s とする。

1. 壁が受け取る音の振動数を求めよ。
2. 反射音を音源自身が聞くときの振動数を求めよ。
3. 音源が聞く「直接音と反射音」のうなりの回数を求めよ。

4-5 斜め ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

音源が直線道路を一定の速さで走り、その道路から離れた場所に観測者が立っている。

1. 音源が観測者にもっとも近づく（真横を通る）瞬間、聞こえる振動数はどうなるか。
2. その理由を述べよ。
3. 通過の前後で、聞こえる振動数はどう変化するか。

風がある場合のドップラー効果について答えよ。音速を V 、風速を w とする。

1. 音が風下へ進むとき、音速はどう扱うか。
2. 風がある場合、音源や観測者の速度は変えるべきか。
3. 音源も観測者も静止しているとき、風があると振動数は変わるか。

反射と屈折

記号の約束

θ_1 入射角（法線から測る） θ_2 屈折角 n 屈折率 v その媒質中の速さ [m/s] λ その媒質中の波長 [m] θ_c 臨界角

この章で使う武器

- $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$, $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$
- 屈折率が大きい=遅い=波長が短い=法線に近づく
- 振動数はどの媒質でも変わらない
- 全反射: $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ (密→疎のときだけ)

5-1

屈折の法則 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

空気中から屈折率 1.5 のガラスへ、入射角 30° で光を入れた。

1. 屈折角の正弦 $\sin \theta_2$ を求めよ。
2. ガラス中での光の速さを求めよ。(真空中 3.0×10^8 m/s)

5-2 波長 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

真空中で波長 600 nm の光が、屈折率 1.5 の媒質に入った。

1. 媒質中での波長を求めよ。
2. 媒質中での振動数は、真空中と比べてどうか。
3. 光の色は変わるか。

5-3 全反射 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

屈折率 1.5 のガラスと空気の境界について答えよ。

1. 臨界角の正弦を求めよ。
2. ガラスから空気へ、入射角 45° で光を当てるとどうなるか。
3. 空気からガラスへ入射する場合、全反射は起こるか。

5-4 見かけの深さ ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

水（屈折率 $4/3$ ）の底にある物体を、真上から見る。

1. 実際の深さが 1.2 m のとき、見かけの深さを求めよ。
2. 実際より浅く見えるか、深く見えるか。

5-5 光ファイバー ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

光ファイバーについて答えよ。

1. 光ファイバーは何という現象を利用しているか。
2. 中心部（コア）と外側（クラッド）では、どちらの屈折率が大きいか。理由も述べよ。

白色光をプリズムに通すと、光が虹色に分かれた。

1. この現象を何というか。
2. 赤い光と紫の光では、どちらが大きく曲がるか。
3. その理由を、屈折率の言葉で説明せよ。

レンズと鏡

記号の約束

a レンズから物体までの距離 b レンズから像までの距離（虚像で負） f 焦点距離（凹レンズで負） m 倍率

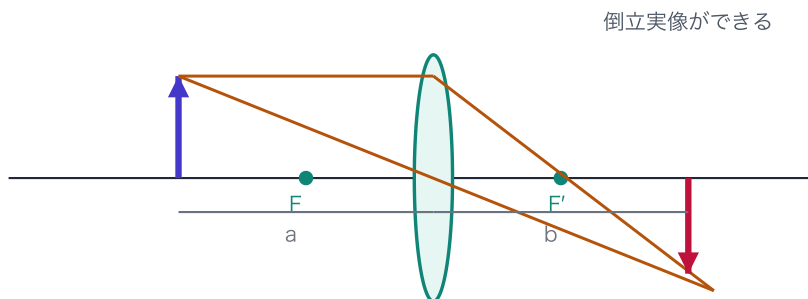
この章で使う武器

- $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 、倍率 $m = \frac{|b|}{a}$
- $b > 0$ なら実像（倒立）／ $b < 0$ なら虚像（正立）。凹レンズは $f < 0$
- 3本の光線：平行→焦点／中心→直進／焦点→平行
- $a > 2f$ 縮小実像／ $f < a < 2f$ 拡大実像／ $a < f$ 拡大虚像

6-1 実像 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

焦点距離 20 cm の凸レンズの前 60 cm の位置に、高さ 3.0 cm の物体を置いた。



1. 像はレンズから何 cm の位置にできるか。
2. 像の大きさを求めよ。
3. 像は正立か倒立か、実像か虚像か。

6-2 虚像 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

焦点距離 20 cm の凸レンズの前 10 cm（焦点の内側）に、高さ 2.0 cm の物体を置いた。

1. 像の位置を求めよ。
2. 倍率と像の大きさを求めよ。
3. 像の種類を答えよ。

6-3 凹レンズ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

焦点距離の大きさが 20 cm の凹レンズの前 20 cm に物体を置いた。

1. 像の位置を求めよ。
2. 像の種類と倍率を答えよ。

6-4 像の種類 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

焦点距離 f の凸レンズについて、物体の位置 a を変えたときの像を答えよ。

1. $a > 2f$ のとき
2. $a = 2f$ のとき
3. $f < a < 2f$ のとき
4. $a < f$ のとき

6-5 レンズを隠す ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

凸レンズで実像をスクリーンに映しているとき、レンズの下半分を黒い紙でおおった。

1. 像はどうなるか。
2. その理由を、光線の集まり方から説明せよ。

凸レンズを使い、物体とスクリーンの位置を調整したところ、物体からレンズまで 30 cm、レンズからスクリーンまで 60 cm のときに鮮明な像ができた。

1. このレンズの焦点距離を求めよ。
2. このときの倍率を求めよ。
3. 物体とスクリーンの距離を変えずに、レンズだけを動かしてもう1か所で像ができる。その位置を答えよ。

ヤングの実験と回折格子

記号の約束

d スリット間隔／格子定数 [m] L スリットからスクリーンまで [m] x スクリーン上の中心からの距離 [m]

Δx 明線の間隔 [m] m 次数

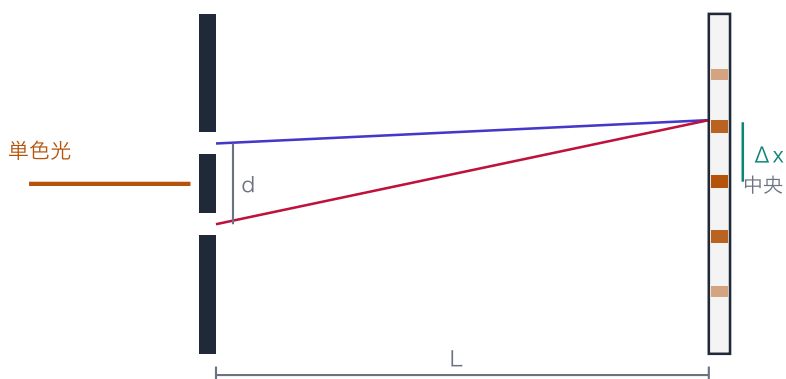
この章で使う武器

- 経路差 $= m\lambda$ で明、 $= (m + \frac{1}{2})\lambda$ で暗（位相のずれがないとき）
- ヤング：経路差 $\equiv \frac{dx}{L}$ 、明線の間隔 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$
- 回折格子： $d \sin \theta = m\lambda$ 、格子定数は「1 mm あたりN本」なら $d = \frac{1}{N}$ mm
- d を小さく／ λ を大きく／ L を大きく すると縞は広がる

7-1 ヤング ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

ヤングの実験を行った。スリット間隔 0.50 mm、スリットからスクリーンまで 2.0 m、光の波長 500 nm である。



1. 明線の間隔を求めよ。
2. 中央から数えて3番目の明線 ($m = 3$) の位置を求めよ。

7-2 波長を求める ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ヤングの実験で、スリット間隔 0.20 mm 、スクリーンまで 1.5 m のとき、明線の間隔が 3.9 mm であった。

1. この光の波長を求めよ。(nm で答えよ)

7-3 回折格子 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

1 mm あたり 500 本の溝がある回折格子に、波長 600 nm の光を垂直に当てた。

1. 格子定数を求めよ。
2. 1次の明線が現れる角度の正弦を求めよ。
3. 何次の明線まで観測できるか。

7-4 白色光 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ヤングの実験を白色光で行った。

1. 中央の明線は何色に見えるか。理由も述べよ。
2. その外側では、内側と外側のどちらが赤く見えるか。

7-5 条件を変える ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ヤングの実験について、次の操作をしたとき明線の間隔はどうなるか。倍率で答えよ。

1. スリット間隔を 2 倍にする
2. スクリーンまでの距離を 3 倍にする
3. 光を波長 400 nm から 600 nm に変える
4. 装置全体を屈折率 1.5 の水中に入れる

7-6

経路差 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

2つのスリットからある点までの距離が、それぞれ 1.5000 m と 1.5000015 m であった。光の波長は 500 nm である。

1. 経路差を求めよ。
2. この点は明るい暗い。理由も述べよ。

薄膜・くさび形・ニュートンリング

記号の約束

n 膜の屈折率 d 膜やすき間の厚さ [m] λ 真空中での波長 [m] m 次数

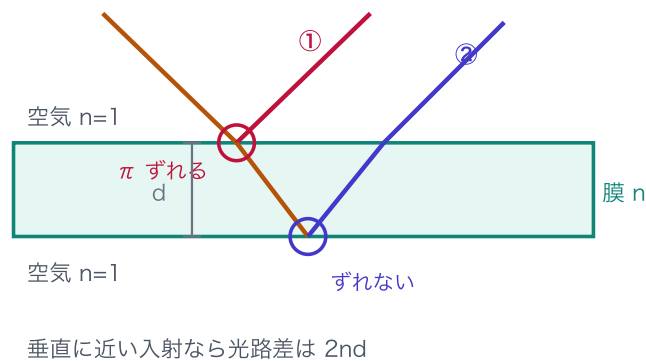
この章で使う武器

- 屈折率の小さい側から大きい側へ入って反射すると、位相が π ずれる（逆はずれない）
- 薄膜（垂直入射）の光路差 $= 2nd$ 。斜めなら $2nd \cos r$
- 片方だけ π ずれるなら条件が入れ替わる： $2nd = (m + \frac{1}{2})\lambda$ で明
- 検算：くさび形・ニュートンリングは接触点（ $d = 0$ ）が必ず暗

8-1 π ずれ ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

空気中に置かれた屈折率 n (>1) の薄膜に、光を垂直に近い角度で当てた。



1. 膜の上面で反射する光①の位相はどうなるか。
2. 膜の下面で反射する光②の位相はどうなるか。
3. 2つの光の光路差を、 n と d で表せ。

8-2 薄膜 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

前問と同じ薄膜について答えよ。

1. 反射光が強め合う（明るく見える）条件を式で書け。
2. 膜の厚さが 0 に近づくと、反射光は明るいか暗いか。

8-3 くさび形 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

2枚の平面ガラスを重ね、一端に厚さ D の薄い紙をはさんでくさび形の空気層をつくった。ガラスの長さは L 、真上から波長 λ の単色光を当てて反射光を観察する。

1. 接触している端は明線と暗線のどちらになるか。
2. 隣り合う明線の間隔を、 L 、 D 、 λ で表せ。

8-4 ニュートンリング ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

平凸レンズを平面ガラスの上に置き、真上から単色光を当てて反射光を観察すると、同心円状の縞が見えた。

1. 中心は明るい暗いか。
2. 縞の間隔は、中心付近と外側のどちらが広い。理由も述べよ。
3. レンズとガラスのすき間を水で満たすと、縞の間隔はどうなるか。

8-5 反射防止膜 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

レンズの表面に薄い膜をつけて、反射光を弱める（反射防止膜）。レンズの屈折率を 1.5、膜の屈折率を 1.3 とし、光を垂直に当てる。

1. 膜の上面での反射、下面での反射の位相はそれぞれどうなるか。
2. 反射光が弱め合う条件を式で書け。
3. もっとも薄い膜の厚さを λ と 1.3 で表せ。

薄膜やニュートンリングを、反射光ではなく**透過光**で観察する。

1. 明暗は反射光のときと比べてどうなるか。
2. ニュートンリングの中心は明るいか暗いか。
3. その理由を簡単に述べよ。

解説編

式は書き写せる順に並べてある。

自分の答案と1行ずつ突き合わせて、どこで分かれたかを特定する。

第1章 波の基本量とグラフ

1-1 $v = f\lambda$ に入れるだけ

■(1) $v = f\lambda = 5.0 \times 0.60 = 3.0 \text{ m/s}$

■(2) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5.0} = 0.20 \text{ s}$

答 (1) 3.0 m/s (2) 0.20 s

1-2 y-xグラフから読む

■(1) 図から、1つの波の長さは 4.0 m、いちばん高いところは 4.0 cm

$\lambda = 4.0 \text{ m}$ 、 $A = 4.0 \text{ cm}$

■(2) $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2.0}{4.0} = 0.50 \text{ Hz}$ 、 $T = \frac{1}{f} = 2.0 \text{ s}$

■(3) 波形を右へ少しずらすと、点Pの位置には今より左側にあった波形が来る。

Pの左側は谷なので、Pの高さは下がる → 下向き (yの負の向き)

(覚え方：波が右へ進むなら、媒質は「波形の少し左の高さ」になろうとする。)

答 (1) $\lambda = 4.0 \text{ m}$ 、 $A = 4.0 \text{ cm}$ (2) $f = 0.50 \text{ Hz}$ 、 $T = 2.0 \text{ s}$ (3) 下向き

1-3 横軸で読むものが変わる

■(1) y - x グラフ（横軸が位置）→ 波長 λ y - t グラフ（横軸が時刻）→ 周期 T

■(2) 等しい。どちらの縦軸も変位 y で、最大値は振幅 A 。

■(3) どちらからも直接は読めない。問題文の指定か、少し後の波形との比較が必要。

「横軸のラベルを声に出す」だけで、この単元の失点の半分は消える。

答 (1) y - $x \rightarrow \lambda$ 、 y - $t \rightarrow T$ (2) 等しい（どちらも振幅） (3) どちらからも直接は読めない

1-4 何波長ぶん進んだか

■(1) $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2.0}{4.0} = 0.50 \text{ s}$

■(2) $4.0 \times 3.0 = 12 \text{ m}$

■(3) $\frac{3.0}{0.50} = 6.0 \text{ 回}$

(12 m は 6波長ぶん。波が6波長進む間に、1点は6回振動する —— 一致する。)

答 (1) 0.50 s (2) 12 m (3) 6.0 回

1-5 振動の向きで分ける

■(1) 横波：媒質の振動の向きが、波の進む向きと垂直。

縦波：媒質の振動の向きが、波の進む向きと同じ（平行）。疎密波ともいう。

■(2) 縦波（空気が進行方向に押し引きされる）。

■(3) 進行方向へのずれ（右向きのずれを正、などと決めて表す）。見やすくするための描き方であって、実際に上下に動いているわけではない。

答 (1) 横波＝垂直、縦波＝平行 (2) 縦波 (3) 進行方向へのずれ

1-6 足すだけ・通過後は元通り

■(1) 重ね合わせの原理により変位を足すので 2倍。

■(2) 打ち消し合って 0（一瞬、波が消えたように見える）。

■(3) もとの形のまま、それぞれ進み続ける（波の独立性）。

変位が0になった瞬間も、媒質は速度をもっているのでエネルギーは失われていない。

答 (1) 2倍 (2) 0になる (3) もとの形のまま進み続ける

第2章 重ね合わせと定常波

2-1 $\lambda/2$ を使うだけ

■(1) 図から、節と節の間隔が 0.30 m。これが $\lambda/2$ にあたる。

$$\lambda = 2 \times 0.30 = 0.60 \text{ m}$$

■(2) 節と隣の腹は $\lambda/4$ なので

$$\frac{0.60}{4} = 0.15 \text{ m}$$

答 (1) 0.60 m (2) 0.15 m

2-2 端の条件を先に決める

■(1) 節。固定端では媒質が動けないので、そこの変位はつねに0でなければならない。

■(2) 腹。自由端は自由に動けるので、もっとも大きく振動する。

■(3) π ずれる (上下が反転して返る)。

入射波と反射波が壁の位置で必ず打ち消し合うためには、この反転が必要になる。

答 (1) 節 (動けないから) (2) 腹 (3) π ずれる

2-3 $\lambda = 2L/n$

■(1) 両端が節なので、基本振動は $\lambda = 2L = 1.2 \text{ m}$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{120}{1.2} = 100 \text{ Hz}$$

■(2) 2倍振動は $\lambda = L = 0.60 \text{ m}$ 、 $f = \frac{120}{0.60} = 200 \text{ Hz}$

(振動数は基本振動の整数倍になる。)

■(3) 2倍振動では、両端と中央で節になるので 3個。

答 (1) 1.2 m、100 Hz (2) 200 Hz (3) 3個

2-4 n倍振動の関係

■(1) 弦に半波長が n 個入るので $L = n \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$

■(2) $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}$ なので n倍。

■(3) $v \propto \sqrt{\text{張力}}$ なので、張力4倍で v は2倍。

$f \propto v$ だから振動数も 2倍。(弦を強く張ると音が高くなる。)

答 (1) $\lambda = 2L/n$ (2) n倍 (3) 2倍

2-5 反射波を描いてから足す

■(1) ①壁の向こう側に、波形をそのまま延長して描く

②それを上下反転させる（固定端なので位相が π ずれる）

③左右も反転させて（折り返して）、壁の手前に戻す

この「上下反転して折り返す」が固定端反射の作図。

■(2) 自由端では上下反転させない。折り返すだけ。

■(3) 入射波と反射波の変位を、各点で足す（重ね合わせの原理）。

答 (1) 延長 → 上下反転 → 折り返す (2) 上下反転させない (3) 各点で変位を足す

2-6 進まない・運ばない

■(1) どちらにも進まない。だから「定常」波という。

■(2) 運ばない。右向きの波と左向きの波が同じだけエネルギーを運ぶので差し引き0。

■(3) いいえ。腹は「振幅が最大の点」であって、振動しているので変位が0になる瞬間もある（全体が一直線になる瞬間がある）。

答 (1) 進まない (2) 運ばない (3) いいえ（変位が0になる瞬間もある）

第3章 音波と共鳴

3-1 式に入れるだけ

■(1) $V = 331.5 + 0.6 \times 20 = 343.5 \text{ m/s}$

■(2) $\lambda = \frac{V}{f} = \frac{343.5}{500} = 0.687 \text{ m}$

答 (1) 343.5 m/s (2) 約 0.69 m

3-2 $\lambda = 4L$ から始める

■(1) 閉管の基本振動は $\lambda = 4L = 4 \times 0.85 = 3.4 \text{ m}$

$f = \frac{340}{3.4} = 100 \text{ Hz}$

■(2) 次は3倍振動： $\lambda = \frac{4L}{3}$ 、 $f = 3 \times 100 = 300 \text{ Hz}$

■(3) 閉じた端は節、開いた端は腹でなければならない。

この条件を満たすのは、管の長さが $\lambda/4$ の奇数倍のときだけなので、偶数倍の振動は起こらない。

答 (1) 3.4 m、100 Hz (2) 300 Hz (3) 一端が節・他端が腹という条件を満たすのが奇数倍のときだけだから

3-3 $\lambda = 2L$

■(1) 開管の基本振動は $\lambda = 2L = 1.0 \text{ m}$

$$f = \frac{340}{1.0} = 340 \text{ Hz}$$

■(2) $3 \times 340 = 1020 \text{ Hz}$

(開管はすべての整数倍が出る。同じ長さの閉管より基本振動が1オクターブ高い。)

答 (1) 340 Hz (2) 1020 Hz

3-4 差を取れば補正が消える

■(1) この装置は閉管。連続する2つの共鳴位置の差が、ちょうど $\lambda/2$ にあたる。

$$\frac{\lambda}{2} = 0.50 - 0.16 = 0.34 \rightarrow \lambda = 0.68 \text{ m}$$

差を取ると開口端補正が消えるのがこの実験のうまいところ。

$$\text{■(2)} f = \frac{340}{0.68} = 500 \text{ Hz}$$

■(3) 1回目の共鳴が基本振動なので、補正 Δ を入れると

$$L_1 + \Delta = \frac{\lambda}{4} = 0.17$$

$$\Delta = 0.17 - 0.16 = 0.01 \text{ m}$$

答 (1) 0.68 m (2) 500 Hz (3) 0.01 m

3-5 差の絶対値

■(1) うなりの回数＝振動数の差なので

$$440 \pm 3 \rightarrow 437 \text{ Hz または } 443 \text{ Hz}$$

■(2) おんさを重くすると振動しにくくなり、振動数は下がる。

下げたらうなりが増えた＝440 からさらに遠ざかったということなので、

もとの振動数は 440 より低い $\rightarrow 437 \text{ Hz}$

(この「重りを付けて確かめる」手順が実験問題で頻出。)

答 (1) 437 Hz または 443 Hz (2) 437 Hz

3-6 速さと長さで決まる

■(1) $f = \frac{v}{2L}$ で L が半分 $\rightarrow$ 2倍 (1オクターブ高くなる)。

■(2) 張力が大きいほど v が大きくなり f も大きくなる $\rightarrow$ 高くなる。

■(3) 太い弦は線密度が大きく、 v が小さくなるので 太い弦のほうが低い。

ギターの低音弦が太いのはこのため。

答 (1) 2倍 (2) 高くなる (3) 太い弦

第4章 ドップラー効果

4-1 分母が変わる

■(1) 近づくので $v_s = +20$

$$f' = 800 \times \frac{340}{340 - 20} = 800 \times \frac{340}{320} = 850 \text{ Hz}$$

もとより高い —— 近づいているので正しい。

■(2) 遠ざかるので $v_s = -20$

$$f' = 800 \times \frac{340}{340 + 20} = 800 \times \frac{340}{360} = 756 \text{ Hz}$$

通過の瞬間に 850 $\rightarrow$ 756 と急に下がる。これがサイレンの聞こえ方。

答 (1) 850 Hz (2) 約 756 Hz

4-2 分子が変わる

■(1) 観測者が音源へ向かうので、正の向き (音源 $\rightarrow$ 観測者) とは逆。 $v_o = -34$

$$f' = 500 \times \frac{340 + 34}{340} = 500 \times \frac{374}{340} = 550 \text{ Hz}$$

■(2) 変化していない。音源が静止しているので波長は $\frac{340}{500} = 0.68 \text{ m}$ のまま。

観測者が動くと、単位時間に出会う波の数が変わるだけ。

音源が動く場合は波長そのものが変わるので、ここは区別する。

答 (1) 550 Hz (2) 変化しない (波長は音源が決める)

4-3 1本の式で処理する

■正の向きを「音源 → 観測者」=右向きとする。 $v_s = +20$ 、 $v_o = +10$

$$f' = 600 \times \frac{340 - 10}{340 - 20} = 600 \times \frac{330}{320} = 618.75 \text{ Hz}$$

■(2) 高い。音源のほうが速いので、全体としては距離が縮まっている（近づいている）から。

検算：もし2つが同じ速さなら分子と分母が等しくなり $f' = f$ になる —— 距離が変わらないので当然。

答 (1) 約 619 Hz (2) 高い（音源のほうが速く、距離が縮まっているから）

4-4 2段階で処理する

■(1) 壁を「静止した観測者」とみなす。音源が近づくので

$$f_1 = 500 \times \frac{340}{340 - 20} = 531.25 \text{ Hz}$$

■(2) 次に、壁を「 f_1 を出す静止した音源」とみなす。音源（いまは観測者）が壁へ近づくので

$$f_2 = f_1 \times \frac{340 + 20}{340} = 531.25 \times \frac{360}{340} = 562.5 \text{ Hz}$$

まとめて $f_2 = 500 \times \frac{340 + 20}{340 - 20} = 562.5 \text{ Hz}$ と書いてもよい。

■(3) 音源自身が出している音は 500 Hz なので

$$|562.5 - 500| = 62.5 \text{ 回/秒}$$

（車の速度測定はこの原理。うなりの回数から速さが逆算できる。）

答 (1) 約 531 Hz (2) 562.5 Hz (3) 62.5 回/秒

4-5 結ぶ方向の成分だけが効く

■(1) もとの振動数 f と等しくなる。

■(2) ドップラー効果に効くのは、音源と観測者を結ぶ方向の速度成分だけ。

真横を通る瞬間は、音源の速度が結ぶ方向と垂直になり、成分が0になるから。

■(3) 近づく間は f より高く、通過の瞬間に f と等しくなり、遠ざかる間は f より低くなる。連続的に下がっていく。

答 (1) f と等しくなる (2) 結ぶ方向の速度成分が0になるから (3) 高い → f → 低い と連続的に下がる

4-6 音速のほうを変える

■(1) 音速を $V + w$ として扱う（風上へ進むときは $V - w$ ）。

■(2) 変えない。風は空気（媒質）が動くだけなので、音速だけが変わる。

■(3) 変わらない。式で V を $V + w$ に置き換えても、 $v_s = v_o = 0$ なら $f' = f \frac{V + w}{V + w} = f$ となる。

風で変わるのは波長と音速であって、振動数ではない。

答 (1) $V + w$ とする (2) 変えない (3) 変わらない

第5章 反射と屈折

5-1 代入するだけ

■(1) $1.0 \times \sin 30^\circ = 1.5 \times \sin \theta_2$

$$\sin \theta_2 = \frac{0.50}{1.5} = 0.33$$

($\theta_2 \simeq 19^\circ$ 。屈折率の大きい側へ入るので法線に近づいた。)

■(2) $v = \frac{c}{n} = \frac{3.0 \times 10^8}{1.5} = 2.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

答 (1) 約 0.33 (2) $2.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

5-2 振動数は不変

■(1) $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = \frac{600}{1.5} = 400 \text{ nm}$

■(2) 変わらない。振動数は光源が決めているので、媒質が変わっても同じ。

■(3) 変わらない。色を決めているのは振動数であって波長ではない。

(水中で赤い光が青く見えたりしないのはこのため。)

答 (1) 400 nm (2) 変わらない (3) 変わらない

5-3 密→疎のときだけ

■(1) $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.0}{1.5} = 0.67$ ($\theta_c \simeq 42^\circ$)

■(2) $45^\circ > 42^\circ$ なので 全反射する（光は空気中へ出られない）。

■(3) 起こらない。全反射は屈折率の大きい側から小さい側へ進むときだけ。

空気（小）→ガラス（大）では、どんな入射角でも必ず屈折光が存在する。

答 (1) 約 0.67 (2) 全反射する (3) 起こらない

5-4 屈折で浅く見える

■(1) 真上から見るときの見かけの深さは $\frac{\text{実際の深さ}}{n}$

$$\frac{1.2}{4/3} = 1.2 \times \frac{3}{4} = 0.90 \text{ m}$$

■(2) 浅く見える。

水中から出る光が水面で法線から離れる向きに屈折し、その延長が実際より上で交わるため（虚像）。プールが浅く見えるのはこれ。

答 (1) 0.90 m (2) 浅く見える

5-5 全反射の応用

■(1) 全反射。

■(2) コア（中心部）のほうが大きい。

全反射は屈折率の大きい側から小さい側へ進むときにしか起こらないので、光を閉じ込めたい中心部の屈折率を大きくする必要がある。

これにより、光は何度も全反射しながら曲がった経路でも遠くまで届く。

答 (1) 全反射 (2) コア（全反射で光を閉じ込めるため）

5-6 波長で屈折率が違う

■(1) 分散。

■(2) 紫のほうが大きく曲がる。

■(3) 屈折率は波長によってわずかに違い、波長が短いほど大きい。

紫は波長が短く屈折率が高いので、より大きく曲がる。

（虹も同じ原理。水滴の中での屈折率の差で色が分かれる。）

答 (1) 分散 (2) 紫 (3) 波長が短いほど屈折率が高いから

第6章 レンズと鏡

6-1 公式に入れる

$$\blacksquare(1) \frac{1}{60} + \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$$
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{20} - \frac{1}{60} = \frac{3-1}{60} = \frac{2}{60} \rightarrow b = 30 \text{ cm}$$

$$\blacksquare(2) \text{ 倍率 } m = \frac{30}{60} = 0.50 \text{ 倍} \rightarrow 3.0 \times 0.50 = 1.5 \text{ cm}$$

■(3) $b > 0$ なので 倒立実像 ($a > 2f$ なので縮小されている —— カメラと同じ)。

答 (1) 30 cm (2) 1.5 cm (3) 倒立実像

6-2 b が負になる

$$\blacksquare(1) \frac{1}{10} + \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$$
$$\frac{1}{b} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10} = -\frac{1}{20} \rightarrow b = -20 \text{ cm}$$

負なので物体と同じ側に 20 cm のところ。

$$\blacksquare(2) m = \frac{|-20|}{10} = 2.0 \text{ 倍} \rightarrow 2.0 \times 2.0 = 4.0 \text{ cm}$$

■(3) 正立虚像。スクリーンには映らない (虫めがねで見える像)。

答 (1) レンズの前方 20 cm (物体と同じ側) (2) 2.0倍・4.0 cm (3) 正立虚像

6-3 f を負にする

■凹レンズなので $f = -20 \text{ cm}$ とする。

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{b} = \frac{1}{-20}$$
$$\frac{1}{b} = -\frac{1}{20} - \frac{1}{20} = -\frac{2}{20} \rightarrow b = -10 \text{ cm}$$

■像は物体と同じ側 10 cm、 $m = \frac{10}{20} = 0.50 \text{ 倍}$

正立虚像で縮小。凹レンズは物体の位置によらず、つねにこの種類の像をつくる。

答 (1) レンズの前方 10 cm (物体と同じ側) (2) 正立虚像・0.50倍

6-4 a と f の大小で決まる

■(1) 縮小された倒立実像 (カメラ)

■(2) 同じ大きさの倒立実像 (像も $b = 2f$ の位置)

■(3) 拡大された倒立実像 (プロジェクター)

■(4) 拡大された正立虚像 (虫めがね)

※ $a = f$ のときは光線が平行になり、像を結ばない。

答 (1) 縮小・倒立実像 (2) 等倍・倒立実像 (3) 拡大・倒立実像 (4) 拡大・正立虚像

6-5 像は欠けず暗くなる

■(1) 像の形は変わらず（欠けず）、全体が暗くなる。

■(2) 物体の1点から出た光は、レンズの全面を通して像の1点に集まっている。

レンズの一部をふさいでも、残りの部分を通る光が同じ点に集まるので、像の形は変わらない。ただし届く光の量が減るので暗くなる。

「下半分を隠すと像の下半分が消える」と答えるのが典型的な誤り。

答 (1) 形は変わらず暗くなる (2) 1点から出た光はレンズ全面を通して像の1点に集まるから

6-6 焦点距離を求める

$$\begin{aligned} \text{■(1)} \quad \frac{1}{30} + \frac{1}{60} &= \frac{1}{f} \\ \frac{2+1}{60} = \frac{3}{60} &= \frac{1}{20} \rightarrow f = 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{■(2)} \quad m = \frac{60}{30} = 2.0 \text{ 倍}$$

■(3) 写像公式は a と b を入れ替えても成り立つので、

物体から 60 cm（スクリーンから 30 cm）の位置でも像ができる。

このときの倍率は 0.50 倍。1組の位置に対して像ができる場所は2か所ある。

答 (1) 20 cm (2) 2.0倍 (3) 物体から 60 cm の位置

第7章 ヤングの実験と回折格子

7-1 $\Delta x = L\lambda/d$

$$\begin{aligned} \text{■(1)} \quad \Delta x &= \frac{L\lambda}{d} = \frac{2.0 \times 500 \times 10^{-9}}{0.50 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{1.0 \times 10^{-6}}{5.0 \times 10^{-4}} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{■(2)} \quad x = m\Delta x = 3 \times 2.0 = 6.0 \text{ mm}$$

（中央の明線が $m = 0$ 。そこから等間隔に並ぶ。）

答 (1) 2.0 mm (2) 6.0 mm

7-2 式を逆に解く

■ $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ を λ について解く

$$\lambda = \frac{d\Delta x}{L} = \frac{0.20 \times 10^{-3} \times 3.9 \times 10^{-3}}{1.5} \\ = \frac{7.8 \times 10^{-7}}{1.5} = 5.2 \times 10^{-7} \text{ m} = 520 \text{ nm}$$

(可視光は 400~800 nm。この範囲に入っていれば計算はだいたい合っている。)

答 約 520 nm

7-3 格子定数を先に出す

■(1) $d = \frac{1 \text{ mm}}{500} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ mm} = 2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

■(2) $d \sin \theta = m\lambda$ に $m = 1$ を入れて

$$\sin \theta = \frac{600 \times 10^{-9}}{2.0 \times 10^{-6}} = 0.30$$

■(3) $\sin \theta \leq 1$ でなければならないので

$$m \leq \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{0.30} = 3.3 \rightarrow \text{3次まで}$$

答 (1) $2.0 \times 10^{-6} \text{ m}$ (2) 0.30 (3) 3次まで

7-4 波長ごとにずれる

■(1) 白。中央は経路差が0で、どの波長でも強め合うから。

■(2) 外側が赤。

$x = \frac{mL\lambda}{d}$ より、波長が長いほど中央から遠い位置に明線ができる。

赤（長い）が外、紫（短い）が内。

答 (1) 白（すべての波長で経路差0だから） (2) 外側が赤

7-5 比例関係で答える

$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ で考える。

■(1) d が2倍 $\rightarrow$ 1/2 倍（狭くなる）

■(2) L が3倍 $\rightarrow$ 3倍

■(3) λ が 1.5 倍 $\rightarrow$ 1.5 倍

■(4) 水中では波長が $\frac{\lambda}{1.5}$ になるので $1/1.5 \approx 0.67$ 倍（狭くなる）

答 (1) 1/2倍 (2) 3倍 (3) 1.5倍 (4) 約0.67倍

7-6 まず差を出す

■(1) $1.5000015 - 1.5000 = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$

■(2) 波長で割ってみる

$$\frac{1.5 \times 10^{-6}}{500 \times 10^{-9}} = 3.0$$

経路差がちょうど波長の3倍（整数倍）なので、2つの波は山と山が重なる。

→ 明るい（3次の明線）

干渉の問題は、この「経路差を出して λ で割る」が本体。

答 (1) $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}$ (2) 明るい（経路差が波長の3倍だから）

第8章 薄膜・くさび形・ニュートンリング

8-1 反射のたびに判定する

■(1) 空気 ($n=1$) → 膜 ($n>1$) は小さい側から大きい側への反射なので π ずれる。

■(2) 膜 ($n>1$) → 空気 ($n=1$) は大きい側から小さい側なので ずれない。

■(3) ②は膜の中を往復するので、幾何学的には $2d$ 。

膜の中では波長が $\frac{\lambda}{n}$ に短くなるので、真空中の波長で数えるなら

$$\text{光路差} = 2nd$$

答 (1) π ずれる (2) ずれない (3) $2nd$

8-2 条件が入れ替わる

■(1) 片方だけ π ずれているので、ふつうの条件が入れ替わる。

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \text{ で明}$$

■(2) $d \rightarrow 0$ とすると光路差は0だが、片方だけ π ずれているので打ち消し合う。

→ 暗い

この「 $d = 0$ で暗」が、 π ずれの数え方が合っているかの検算になる。

答 (1) $2nd = (m + \frac{1}{2})\lambda$ (2) 暗い

8-3 厚さは位置に比例

■(1) 空気層の下側のガラス面での反射だけが π ずれる (空気 $\rightarrow$ ガラス)。

$d = 0$ では光路差0だが位相が π ずれているので打ち消し合い、暗線。

■(2) 端から距離 x での空気層の厚さは $d = \frac{D}{L}x$

明線の条件は $2d = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$ なので

$$2\frac{D}{L}x = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \rightarrow x = \frac{L\lambda}{2D}\left(m + \frac{1}{2}\right)$$

隣どうしの差を取ると 間隔 $= \frac{L\lambda}{2D}$

等間隔の縞になる。縞の数を数えれば紙の厚さ D が測れる。

答 (1) 暗線 (2) $\frac{L\lambda}{2D}$

8-4 中心ほど広い同心円

■(1) 中心はすき間 $d = 0$ 。下面反射だけが π ずれるので 暗い。

■(2) すき間は中心からの距離 r に対して $d = \frac{r^2}{2R}$ と2乗で増える。

同じだけ d が増えるのに必要な r の変化は、外側ほど小さい。

$\rightarrow$ 中心付近のほうが広い (外側ほど詰まって見える)。

■(3) 水中では波長が $\frac{\lambda}{n}$ に短くなるので、同じ厚さの変化でより多くの縞ができる $\rightarrow$ 狭くなる。

答 (1) 暗い (2) 中心付近 (すき間が距離の2乗で増えるから) (3) 狭くなる

8-5 わざと弱め合わせる

■(1) 上面：空気(1.0) $\rightarrow$ 膜(1.3) は小 $\rightarrow$ 大なので π ずれる。

下面：膜(1.3) $\rightarrow$ レンズ(1.5) も小 $\rightarrow$ 大なので これも π ずれる。

両方ずれるので、差し引きゼロ (ふつうの条件のまま)。

■(2) 弱め合う条件は

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

■(3) $m = 0$ のとき最小

$$d = \frac{\lambda}{4n} = \frac{\lambda}{4 \times 1.3} = \frac{\lambda}{5.2}$$

膜の屈折率がレンズより小さいか大きいかで、 π ずれの数が変わるのがこの問題の急所。

答 (1) どちらも π ずれる (2) $2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$ (3) $d = \frac{\lambda}{5.2}$

8-6 反射光と逆になる

■(1) ちょうど入れ替わる（反射光で明のところが透過光では暗）。

■(2) 明るい（反射光では暗かった）。

■(3) 透過してくる2つの光は、どちらも反射を偶数回（0回または2回）経ているので、 π ずれの回数の差がなくなる。そのため条件が反射光の場合と逆になる。

エネルギー保存の観点でも、反射で消えた光は透過側に回るので、明暗が逆になるのは自然。

答 (1) 入れ替わる (2) 明るい (3) 透過光は反射回数が偶数どうして π ずれの差が消えるから