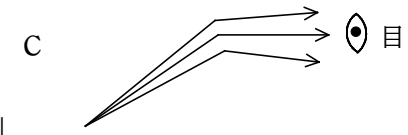
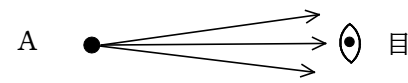


レンズ

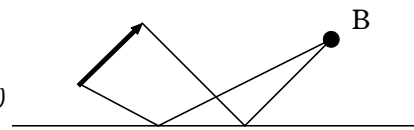
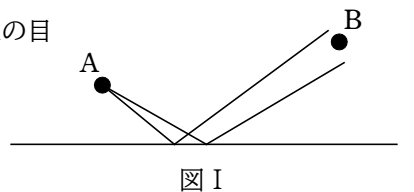
114. 実体と像

- (1) 右図Aは黒点の物体から光が出ており、その光をある人が見ている状態を表している。人は光がある点から放射状に出てその出ている点に物体があると認識する。図Bは光が交差している状態を表しており図Cは途中で光が曲がっている状態である。BもCも目に入ってくる光の状態はAと同じである。この点に注意して以下の問いに答えよ。



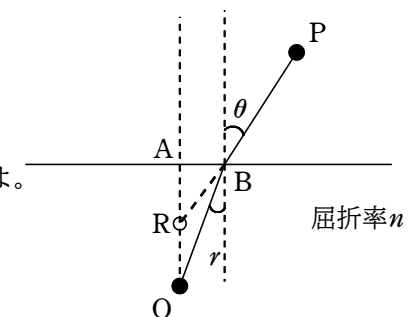
- ① 図B、Cはどこに物体があるように見えるか。作図によりその位置を求めよ。
- ② B、Cは物体がその位置にないので「像」というが、B、Cそれぞれの像の名称を答えよ。
- ③ B、Cの物体が見える位置にスクリーンを置いた。スクリーンはどのように見えるか

- (2) 右図ⅠはAを光源、下の線を鏡、Bを人の目としたとき、AからBに伝わる光の経路を実線で示したものである。図Ⅱは太矢印のような物体があるとき、この物体の両端から出た光の経路を表している。



- これに関して以下の問いに答えよ。
- ① 図Ⅰにおいて、Bの人はAの物体がどこにあるように見えるか。作図によりその位置を求めよ。また、実像か虚像か
- ② Aの像A'の位置とAの位置はどのような関係があるか
- ③ 図Ⅱにおいて矢印の物体はどの位置にどの大きさに見えるか。作図によりその位置を示せ。また、実像か虚像か

- (3) 右図のように水面下 d ($AO=d$)にある光源Oを真上近くから見ると、Rの位置に浮き上がって見える。水の屈折率を n 、光の入射角を θ 、屈折角を r としたとき、以下の問いに答えよ。

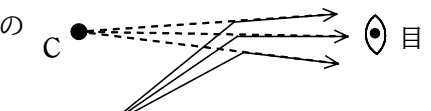
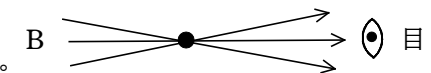


- ① Rの位置に見えるのは実像か虚像か
- ② $\angle BOA$ はいくらか
- ③ 長さABを d, r を用いて表せ。
- ④ $\angle BRA$ はいくらか

解説

- (1) ① B図の黒点の位置から

光が出ているように見えるので、この位置に物体があるように見える。C図においては光が途中で曲がっているが、自分の目に入る光はまっすぐに来たようにしか見えないので、黒点の位置から光が出たように見える。



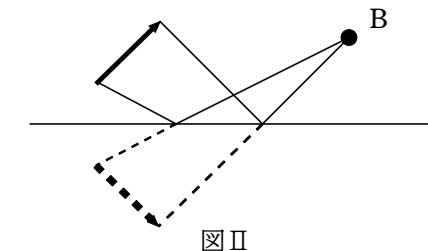
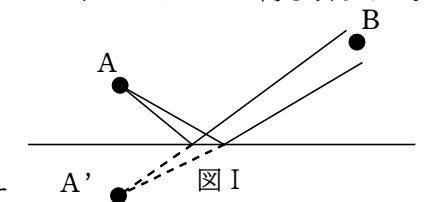
- ②

Bの黒点は実際に光が集まっているので「実像」
Cの黒点は光が集まっていないので「虚像」

- ③

Bの場合は光が実際に集まっているのでスクリーン上に何か像が写る。
Cの場合は黒点の位置に光が存在していないので、スクリーンに何も映らない。

- (2) ① まっすぐに来たように見えるので、光をそのまま延長した交点に光源があるように見える。
- ② AとA'は鏡面に対して対象関係にある。
- ③ 右図のように矢印の両端を鏡を軸として対象移動した位置になる。



- (3) ① 光が存在していないので虚像

- ② 屈折角 r と錯角の位置関係にある。 r

$$\textcircled{3} \quad \tan \theta = \frac{AB}{AO} \quad AB = AO \tan r = d \tan r$$

- ④ 入射角 θ と同位角関係にある。 θ

$$\textcircled{5} \quad \tan \theta = \frac{AB}{AR} \quad AB = x \tan \theta$$

$$\textcircled{6} \quad AB = d \tan r = x \tan \theta \quad \text{これより、} \frac{x}{d} = \frac{\tan r}{\tan \theta}$$

$$\textcircled{7} \quad \text{屈折の法則より} n = \frac{\sin \theta}{\sin r}$$

$$\textcircled{8} \quad \sin \theta \approx \tan \theta \quad \sin r \approx \tan r \quad \text{より、} \frac{x}{d} = \frac{\tan r}{\tan \theta} = \frac{\sin r}{\sin \theta} = \frac{1}{n}$$

$$\text{よって、} x = \frac{d}{n}$$

レンズ

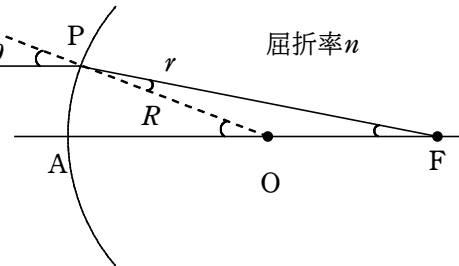
- ⑤ $AR=x$ とすると、長さABを x, θ で表せ。
- ⑥ ③⑤より、 $\frac{x}{d}$ を r, θ で表せ。
- ⑦ 屈折の法則より屈折率 n を r, θ で表せ。
- ・ 真上近くから見た場合 $\theta \approx 0$ である。この場合 $\cos \theta \approx 1$ なので、

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \approx \sin \theta$$
と考えるとよい。
- ⑧ x を n, d で表せ。

115. レンズと屈折率

- (1) 右図は屈折率 n のガラスでできた

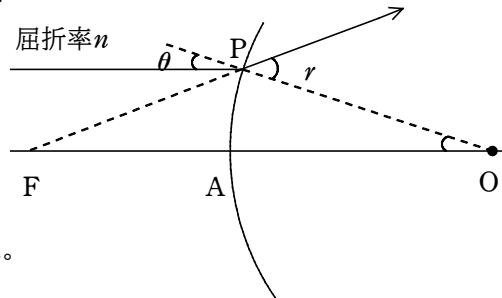
半径 R の凸球面をもつ物体である。光軸（AO）に平行に光が入射角 θ （ $\theta \approx 0$ ）で入射し屈折角 r で屈折したところ光軸と点Fで交差した。球面の中心をOとし、光の入射した点をPとする。以下の問に答えよ。



- ① 屈折の法則より屈折率 n を r, θ を用いて表せ。
- ② $\theta \approx 0$ の場合 $\sin \theta \approx \theta$ と近似してよい。このことを利用して r を n, θ で表せ。
- ③ $\angle AOP$ はいくらか
- ④ $\angle AFP$ はいくらか。 θ, r で表せ。
- ⑤ $\angle AFP$ を②を利用して n, θ で表せ。
- ⑥ 弧APを R, θ で表せ。
- ⑦ 図形FAPは扇形ではないが $\angle AFP \approx 0$ なので、扇形と考えても差し支えない。
 $AF=f$ としたとき、弧APを f と $\angle AFP$ で表せ。
- ⑧ ⑥⑦より、 f を R, n で表せ。
- ⑨ ⑧式に θ が含まれていない。このことは点Fがどのような点であることを示しているか。
- ⑩ Fのような点をなんというか

- (2) 右図は屈折率 n のガラスで

できた半径 R の凹球面をもつ物体である。光軸（AO）に平行に光が入射角 θ （ $\theta \approx 0$ ）で入射し屈折角 r で屈折したところ点Fから光が出たように曲がった。球面の中心をOとし、光の入射した点をPとする。以下の問に答えよ。



解説

- (1) ① $\frac{\sin \theta}{\sin r} = n$ ② $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\sin r \approx r$ より、 $n = \frac{\theta}{r}$ よって、 $r = \frac{\theta}{n}$
- ③ 入射角と同位角の関係にある θ
- ④ $\triangle PFO$ において $\angle AOP$ は外角であるから、 $\angle AOP = \angle OPF + \angle PFA$ 。
 これは、 $\theta = r + \angle AFP$ 。よって、 $\angle AFP = \theta - r$
- ⑤ $\angle AFP = \theta - r = \theta - \frac{\theta}{n} = \frac{n-1}{n}\theta$
- ⑥ $R\theta$ ⑦ $f \cdot \angle AFP$
- ⑧ $AP = f \cdot \angle AFP = f \cdot \frac{n-1}{n}\theta = R\theta$ 。よって、 $f = \frac{nR}{n-1}$
- ⑨ 角 θ が0に近ければどのような値でもF点に光が集まることを意味している。
- ⑩ 焦点
- (2) ① $\frac{\sin r}{\sin \theta} = n$ ② $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\sin r \approx r$ より、 $n = \frac{r}{\theta}$ よって、 $r = n\theta$
- ③ 入射角と同位角の関係にある θ
- ④ $\triangle PFO$ において屈折角 r は外角であるから、 $r = \angle POA + \angle AFP$ 。
 これは、 $r = \theta + \angle AFP$ 。よって、 $\angle AFP = r - \theta$
- ⑤ $\angle AFP = r - \theta = n\theta - \theta = (n-1)\theta$
- ⑥ $R\theta$ ⑦ $f \cdot \angle AFP$
- ⑧ $AP = f \cdot \angle AFP = f(n-1)\theta = R\theta$ 。よって、 $f = \frac{R}{n-1}$
- ⑨ 角 θ が0に近ければどのような値でもF点から光が出たように曲がることを意味している。
- ⑩ 焦点

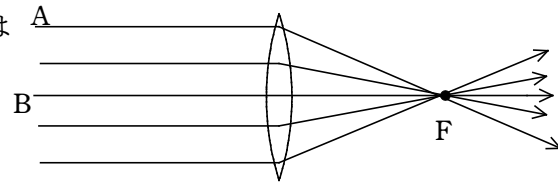
レンズ

- ① 屈折の法則より屈折率 n を r, θ を用いて表せ。
- ② $\theta \simeq 0$ の場合 $\sin \theta \simeq \theta$ とよい。このことを利用して r を n, θ で表せ。
- ③ $\angle AOP$ はいくらか
- ④ $\angle AFP$ はいくらか。 θ, r で表せ。
- ⑤ $\angle AFP$ を②を利用して n, θ で表せ。
- ⑥ 弧 AP を R, θ で表せ。
- ⑦ 図形 FAP は扇形ではないが $\angle AFP \simeq 0$ なので、扇形と考えても差し支えない。
 $AF = f$ としたとき、弧 AP を f と $\angle AFP$ で表せ。
- ⑧ ⑥⑦より、 f を R, n で表せ。
- ⑨ ⑧式に θ が含まれていない。このことは点 F がどのような点であることを示しているか。
- ⑩ F のような点をなんというか

116. 凸レンズと焦点

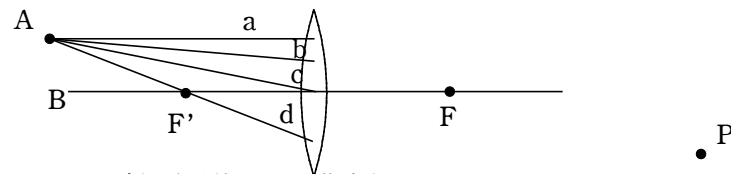
(1) 右図は薄いレンズに光軸に

平行な光を当てたところ、光は
 F 点に集まった。これに関して
 以下の問いに答えよ。



- ① 光 A は光軸に平行な
 光である。この光はレンズに
 よりどのように曲がっているか、簡単に説明せよ。
- ② B は光軸である。光軸上を伝わった光はどのように進むか。図を見て答えよ。
- ③ 図を見て、焦点を通過してレンズに入った光はどのように進むと考えられるか。簡単に説明せよ。

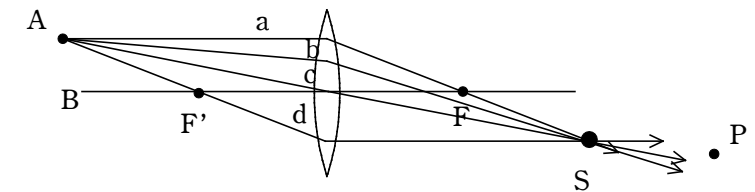
(2) 下図は凸レンズと光軸 BF があり、 A 点は光源である。 F, F' はレンズの焦点である。
 $a \sim d$ の線は光源 A から出た光を示している。これについて以下の問いに答えよ。



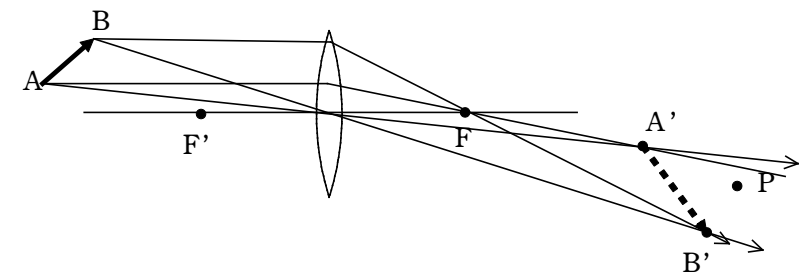
- ① $a \sim d$ のレンズを通過後の光の進路を図示せよ。
 - ② P 点に観測者がいた場合この観測者は光源がどこにあるように見えるか。図示せよ。
 - ③ ②の像は実像か虚像か
- (3) 下図のように凸レンズと光軸があり、矢印 AB は物体である。 P 点にいる観測者がこのレンズによってできる像を見るものとする。以下の問いに答えよ。

解説

- (1) ① 焦点を通るように曲がっている。
- ② そのまま直進
- ③ 図の光の経路を逆にたどってみれば分かる。 平行に進む。
- (2) ① a, c, d に関しては(1)の通りに作図し、 b に関しては光が一点に集まる場所を通るように作図するとよい。下図が答え。

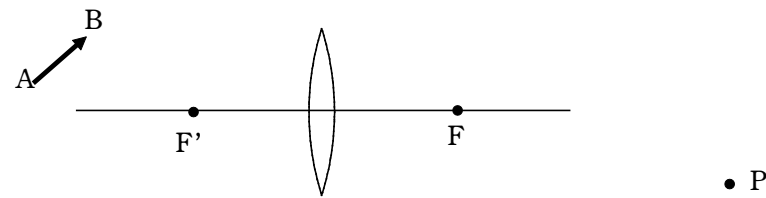


- ② 光が集まったところにあるように見える。上図の S 点
- ③ 実際に光が集まっているので実像
- (3) ①② 下図の通り A の像 A' 、 B の像 B' を作図する。光は2本作図すればその交点が求められる。その交点にそのほかの光も集まる。

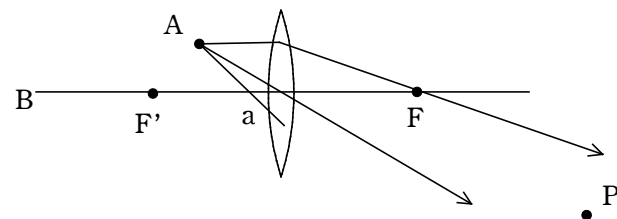


- ③ 上図の A' と B' を結んだ矢印が実像である。
- (4) ① 下図 A' の位置に光源があるように見える。
- ② 光は A' から出ているように見えるので、 A' から直線を引いた延長線上に沿うように曲がる。

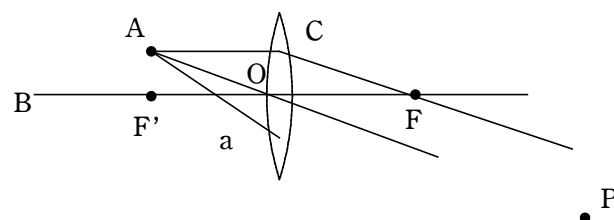
レンズ



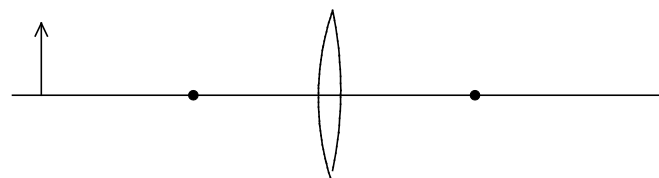
- ① A点はどこに像を結ぶか図示せよ。
 - ② B点はどこに像を結ぶか図示せよ。
 - ③ 図形ABはどの位置にどういう向きに像を作るか図示せよ。
- (4) 下図はレンズと焦点の間に光源Aがある場合の光の経路を図示したものである。
点Pの位置に観測者がいるとして以下の問いに答えよ。



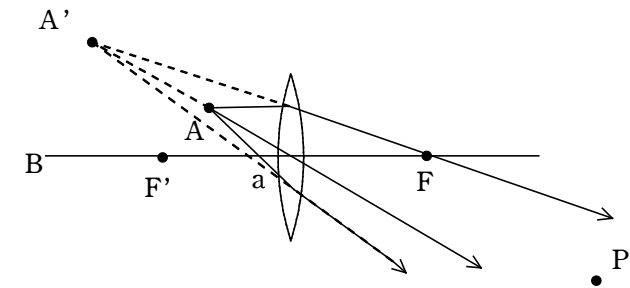
- ① Pにいる人はどこに光源Aがあるように見えるか。作図で示せ。
 - ② 上図の光aはどのように屈折するか図示せよ。
 - ③ この像は実像か虚像か
- (5) 下図はレンズの焦点距離OF'と等しい距離に光源Aをおいた実線はこのときの光の経路を示している。以下の問いに答えよ。



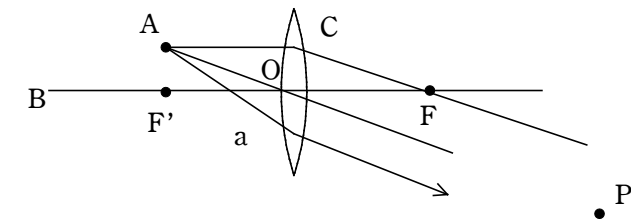
- ① 両方の焦点はレンズから等しい距離にある。四角形ACFOはどのような四角形か
 - ② P点にいる観測者はどこに像があるように見えるか
 - ③ 光の経路aはどのように屈折するか。図示せよ。
- (6) 作図練習 下の図の矢印の像を作図せよ。



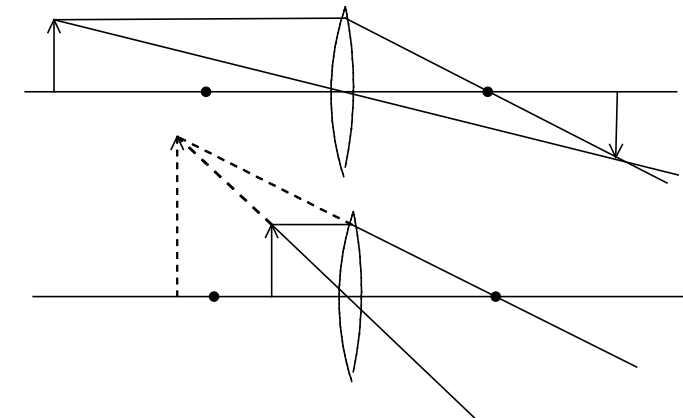
- ③ A'は光が実際に集まっていないので、虚像

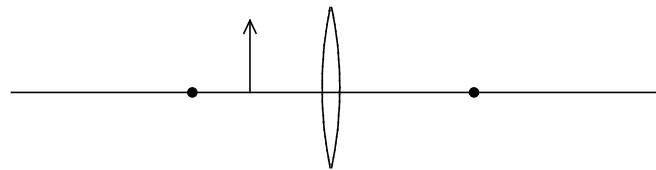


- (5) ① $AC \parallel OF$ かつ $AC = OF$ なので、平行四辺形
- ② 光が平行に進むので光の交点がない。よって、像を結ばない。
- ③ 像を結ばないということはすべての光が平行にならなければならない。よって、AOと平行になるように引く。



- (6)





117. 凸レンズの式

(1) レンズから $AO=30\text{cm}$ のと

ころに物体を置いたところ

$BO=20\text{cm}$ の位置に実像が

できたこのときの光の経路を

図示したのが右図である。

F_1, F_2 を焦点として以下の問いに答えよ。

① $\triangle OA'A \sim \triangle OB'B$ を利用して $AA':BB'$ の比を求めよ。

② 像の倍率 (物体の大きさの何倍か) はいくらか

③ $OO':BB'$ の比はいくらか。

④ $\triangle F_2O'O \sim \triangle F_2B'B$ を利用して $OF_2:F_2B$ を求めよ。

⑤ 焦点距離 OF_2 はいくらか

(2) (1) と同じで、 $AO=a$ 、 $BO=b$ 、焦点距離 $=f$ 、 $AA'=1$ 、 $BB'=n$ として以下の問いに答えよ。

① $AO:BO$ はいくらか a, b で表せ。

② $AA':BB'$ の比を n を用いて求めよ。

③ $\triangle OA'A \sim \triangle OB'B$ を利用して n を a, b で表せ。

④ 像の倍率を a, b で表せ。

⑤ $OO':BB'$ の比を n を用いて表せ。

⑥ $OF_2:F_2B$ を b, f を用いて表せ。

⑦ $\triangle F_2O'O \sim \triangle F_2B'B$ を利用して n を b, f で表せ。

⑧ ③⑦より、 a, b, f の間の関係式を求めよ。

(3) 人には目から離れた物体を

見るとき、最も楽に見ること

のできる距離がある。

この距離を明視距離という。

目と像との間が明視距離に

あるとき、虫眼鏡を通して

その像を見ることができるのである。

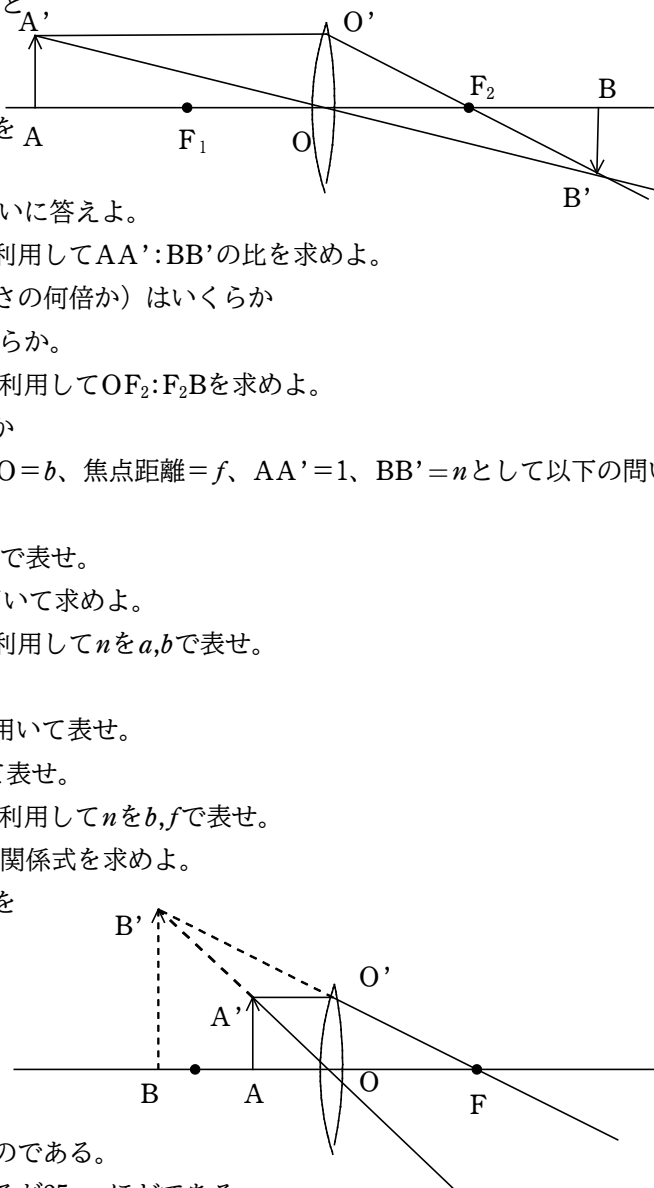
人の明視距離は個人差があるが 25cm ほどである。

明視距離 25cm の人が焦点距離 20cm の虫眼鏡を使った。上の図でレンズの位置に目があるとして以下の問いに答えよ。

① BO の距離はいくらか

② FO の距離はいくらか

③ $FO:FB$ はいくらか



解説

(1) ① $AO:BO=3:2$ であるから $AA':BB'=3:2$

② $\triangle AA'O \sim \triangle BB'O$ より倍率は $\frac{20}{30} = \frac{2}{3}$ 倍

③ $AA'=OO'$ であるので、 $OO':BB'=AA':BB'=3:2$

④ F_2 は OB を $3:2$ に内分する点である。 $OF_2:F_2B=3:2$

⑤ F_2 は OB を $3:2$ に内分する点なので、 $OF_2=20 \times \frac{3}{5} = 12\text{cm}$

(2) ① $a:b$ ② $1:n$ ③ $a:b=1:n$ より、 $n=\frac{b}{a}$

④ $\frac{b}{a}$ ⑤ $1:n$

⑥ $OF_2=f$ $OB=b$ なので、 $F_2B=b-f$ よって、 $f:(b-f)$

⑦ ⑤⑥より、 $1:n=f:(b-f)$ 。これより、 $n=\frac{b-f}{f}$

⑧ ③⑦より、 $\frac{b-f}{f}=\frac{b}{a}$ 簡単にして $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$

(3) ① 25cm ② 20cm ③ $20:45=4:9$ ④ $4:9$

⑤ $AA':BB'=4:9$ なので、 $\frac{9}{4}=2.25$ 倍

⑥ $AA':BB'=4:9$ なので、 $OA:OB=4:9$ $OA=25 \times \frac{4}{9} = 11\text{cm}$

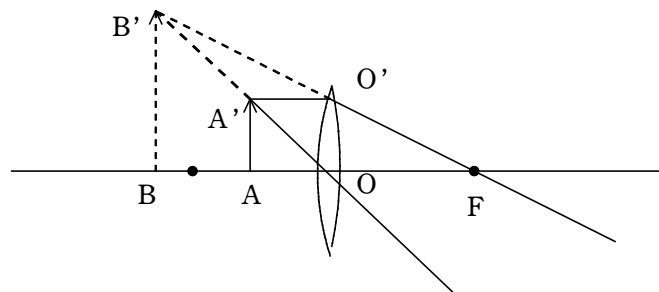
(4) ① $a:b$ ② $1:n$ ③ $a:b=1:n$ より、 $an=b$ ④ $AA'=OO'=1$

⑤ $1:n$ ⑥ $f:(f+b)$ ⑦ $1:n=f:(f+b)$ より、 $nf=f+b$

⑧ $n=\frac{b}{a}$ ⑨ ⑦に⑧を代入して、 $\frac{bf}{a}=f+b$ 簡単にして $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$

レンズ

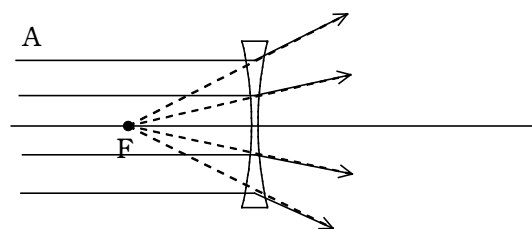
- ④ $\triangle FO'O \sim \triangle FB'B$ を考慮して、 $OO':BB'$ の比を求めよ。
- ⑤ $AA':BB'$ を求めることにより、この虫眼鏡の倍率を求めよ。
- ⑥ $\triangle OA'A \sim \triangle OB'B$ を考慮して物体とレンズとの距離 AO を求めよ。
- (4) 物体 AA' をレンズを通して見たときの像について、光の経路を描いたのが下図である。図において $BB'=n$ 、 $AA'=1$ 、 $AO=a$ 、 $BO=b$ 、焦点距離 $=f$ ($a < f$) とする。以下の問いに答えよ。



- ① $OA:OB$ を a,b で表せ。
- ② $AA':BB'$ を n で表せ。
- ③ $\triangle OA'A \sim \triangle OB'B$ を考慮して a,b,n の関係式を導け
- ④ OO' はいくらか。 n で表せ。
- ⑤ $OO':BB'$ はいくらか。 n で表せ。
- ⑥ $FO:FB$ を f,b で表せ。
- ⑦ $\triangle FO'O \sim \triangle FB'B$ を考慮して、 f,b,n の関係式を導け
- ⑧ ③より、倍率 n を a,b で表せ。
- ⑨ a,b,f の関係式を導け

118. 凹レンズと焦点

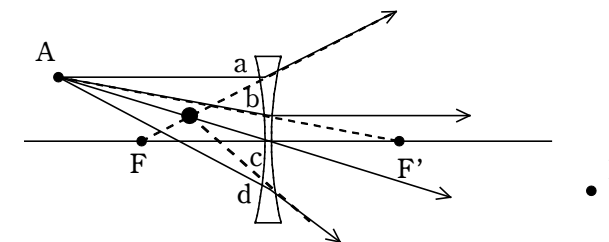
- (1) 右図は凹レンズの光軸に平行に光を入射させたときの光の経路を示したものである。凹レンズは平行光線がある一点から光が出たように屈折する。これについて以下の問いに答えよ。



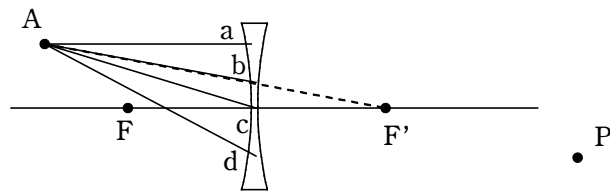
- ① 光が出たように見える点Fをなんというか
- ② 光軸に平行に入った光はどのように曲がっているか説明せよ。
- ③ 光軸上をレンズの中央に入射した光はどのような経路をたどっているか説明せよ。
- ④ 光の経路を逆にたどることにより、レンズの反対側の焦点目指して入射した光の経路を予想せよ。
- (2) 焦点を F,F' とする凹レンズがある。下図のA点に光源があり、P点にいる人が観測する。以下の問いに答えよ。

解説

- (1) ① 焦点 ② 焦点Fから出たように曲がる。 ③ 直進 ④ 平行に進む。
- (2)



- ①② は上図の通りである。 すべての光は像から物体が出たように曲がる。
- ③ 虚像



- ① Aから出た光a～dの凹レンズ通過後の経路を図示せよ。
- ② Pから見た人はどこにAがあるように見えるか。黒点で図示せよ。
- ③ この像は実像か虚像か

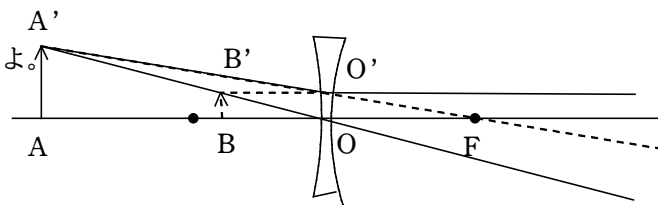
119. 凹レンズの式

- (1) 凹レンズから30cm先に物体を置き、レンズを通して物体を見た。このときの光の経路を示したのが下の図である。

焦点距離=20cm

として以下の問いに答えよ。

- ① 像は実像か虚像か
- ② AOはいくらか
- ③ FOはいくらか
- ④ AFはいくらか
- ⑤ FO:FAはいくらか
- ⑥ OO':AA'はいくらか
- ⑦ 像の倍率はいくらか
- ⑧ $\triangle OBB' \sim \triangle OAA'$ を用いることによりこの像までの距離BOを求めよ。



- (2) 物体AA'を凹レンズを

通して反対側から
見ると、像BB'が
見える。

このときの光の
経路を右図で示している。

AO=a、BO=b、レンズの焦点距離f

AA'=1、BB'=nとして、以下の問いに答えよ。

- ① AO:BOをa,bで表せ。
- ② AA':BB'をnで表せ。
- ③ $\triangle OBB' \sim \triangle OAA'$ を考慮してa,b,nの関係式を求めよ。
- ④ FB:FOをf,bで表せ。
- ⑤ BB':OO'をnで表せ。
- ⑥ $\triangle FB'B \sim \triangle FO'O$ を考慮してf,b,nの関係式を求めよ。
- ⑦ この像の倍率nをa,bで表せ。
- ⑧ a,b,fの関係式を導け

- (3) 右図はOに目があるとき、近視であるこの人が

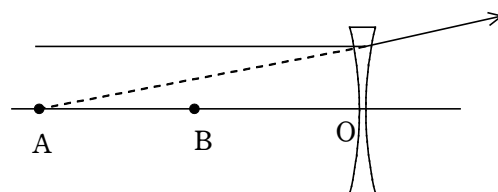
解説

- (1) ① B'に光が集まっていないので虚像
 ② 30cm ③ 20cm ④ $AF=AO+FO=30+20=50\text{cm}$
 ⑤ $FO:FA=20:50=2:5$
 ⑥ $FO:FA=OO':AA'=BB':AA'=2:5$
 ⑦ ⑥より、倍率は $\frac{2}{5}$
 ⑧ $OB:OA=BB':AA'=2:5$
 よって、 $BO=AO \times \frac{2}{5}=30 \times \frac{2}{5}=12\text{cm}$
- (2) ① a:b ② 1:n ③ a:b=1:n より、 $b=an$
 ④ $(f-b):f$ ⑤ n:1 ⑥ $(f-b):f=n:1$ より、 $fn=f-b$
 ⑦ $n=\frac{b}{a}$ ⑧ ⑥に⑦を代入 $\frac{bf}{a}=f-b$ $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=-\frac{1}{f}$
- (3) ① 凹レンズは平行に入射した光は焦点から来たように見えるのでAは焦点ということになる。焦点距離はAO=a
 ② 公式 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ で像までの距離がb。焦点距離がa、物体までの距離をxとする
 と、 $\frac{1}{x}+\frac{1}{b}=\frac{1}{a}$ 。簡単にして $x=\frac{ab}{a-b}$

レンズ

AB間にあるものしか良く見えないとき
遠くにあるものが良く見えるように
なる凹レンズの焦点距離を計算する
ために以下の問いに答えよ。

ただし、 $AO=a$ 、 $BO=b$ とする。



① 無限遠から来た光は光軸に平行にやってくる。

光軸に平行にやってきた光がAから来たように見えればこの人は、遠くの景色が見えるようになる。このことを考慮し焦点距離を求めよ。

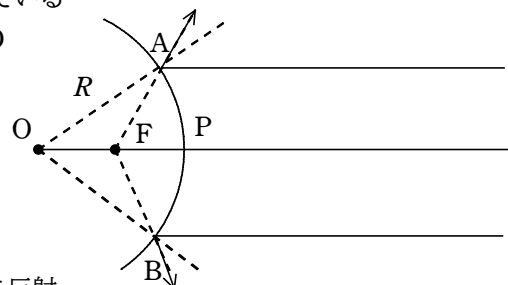
② この人がこのめがねをかけたとき、見ることのできる最短距離を求めたいと思う。

最短距離はBから来たように見えなければならない。Bが像の位置である。焦点距離と像の位置を考慮してこの物体がどこにあったとき、像がBにできるか。

120. 凸面鏡

(1) 球面が光を反射するようになっている

鏡を凸面鏡という。半径 R 、中心 O
の凸面鏡に平行に光を当てたとき、
光は法線（半径）に対して入射
角と反射角が等しくなるように
反射する。この様子を描いたのが
右図である。



この反射光は点Fから出たように反射
している。入射角を θ として以下の問いに答えよ。

① $\angle FAO$ はいくらか

② $\angle FOA$ はいくらか

③ $\triangle FAO$ はどのような三角形か

④ AF と FO はどのような関係にあるか

⑤ $\theta \neq 0$ のとき、AとPはほとんど同じ点となる。FPとAFはどのような関係になるか

⑥ $\theta \neq 0$ のとき、FはOP間のどのような点になるか。

⑦ Fのような点をなんというか

⑧ 光軸に平行に入射した光はどのように反射しているか

⑨ 光の経路を逆にたどることにより、焦点に向かって進んだ光はどのように反射するか答えよ。

(2) 右図は凸面鏡に光が反射して

像ができる様子を示している。

物体は AA' で大きさ1である。

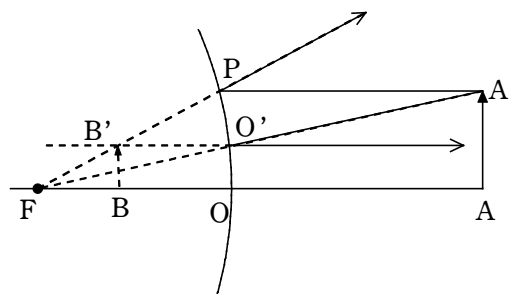
Fが焦点で $FO=f$ 、 $BB'=n$

$AO=a$ 、 $BO=b$ とする。

以下の問いに答えよ。

① $FO:FA$ を f,a で表せ。

② $BB'=n$ である。 OO' はいくらか



解説

(1) ① θ ② θ ③ 二等辺三角形 ④ 等しい ⑤ 等しい

⑥ 中点 ⑦ 焦点 ⑧ 焦点から出たように反射 ⑨ 光軸に平行に進む

(2) ① $f:(f+a)$ ② n ③ $1:n$ ④ $f:(f+a)=n:1$ より、 $f=n(f+a)$

⑤ $(f-b):f$ ⑥ $n:1$ ⑦ $(f-b):f=n:1$ より、 $fn=f-b$

⑧ ④を展開すると $f=nf+an$ ⑦を代入して $f=f-b+an$ $n=\frac{b}{a}$

⑨ ⑧を④に代入して $f=\frac{b}{a}(f+a)$ 簡単にすると、 $\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=-\frac{1}{f}$

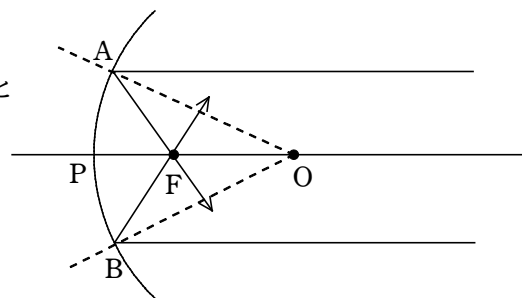
レンズ

- ③ $AA' : OO'$ を n で表せ。
- ④ $\triangle FO'O \sim \triangle FA'A$ を考慮して、 f, a, n の関係を求めよ。
- ⑤ $FB : FO$ を f, b で表せ。
- ⑥ $BB' : PO$ を n で表せ。
- ⑦ $\triangle FB'B \sim \triangle FPO$ を考慮して f, b, n の関係を求めよ。
- ⑧ この像の倍率 n を a, b で表せ。
- ⑨ f, a, b の間に成り立つ関係式を求めよ。

121. 凹面鏡

- (1) 球面の裏側を光が反射するようにした

鏡を凹面鏡という。右図は点 O を中心とした半径 R の球面鏡に光軸に平行に光を入射させると、点 F に光が集まった。点 A における光の入射角を θ として以下の問いに答えよ。



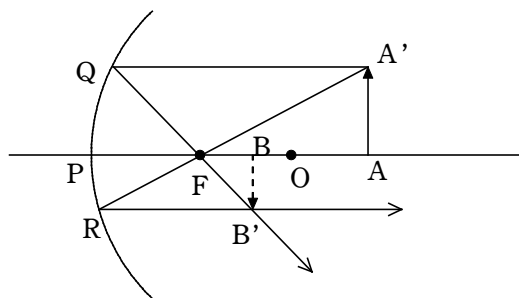
- ① $\angle FAO$ はいくらか
- ② $\angle FOA$ はいくらか
- ③ $\triangle FAO$ はどのような三角形か
- ④ AF と FO はどのような関係にあるか
- ⑤ $\theta \simeq 0$ のとき、 A と P はほとんど同じ点になる。 AF と PF の大きさはどのような関係になるか。
- ⑥ ⑤ のとき、 F は PO のどのような位置にあるか。
- ⑦ PF が焦点距離である。 PF を R で表せ。
- ⑧ 光軸に平行に入射した光はどのように反射するか
- ⑨ 光の経路を逆にたどることにより、焦点を通過した光の経路を予想せよ。

- (2) 凹面鏡から a 離れた点 A に物体

AA' を設置し凹面鏡によってできる像を観察したときの光の経路を図示したものが右図である。

$AA' = 1$ 、 $BB' = n$ 、 $AP = a$

$BP = b$ 、 $PF = f$ として以下の問いに答えよ。



- ① $PF : FA$ を f, a で表せ。
- ② $BB' = PR$ であることを考慮し、 $AA' : PR$ を n で表せ。
- ③ $\triangle FQP \sim \triangle FA'A$ であることを考慮し f, a, n の関係を求めよ。
- ④ $FB : PF$ を b, f で表せ。
- ⑤ $PQ = AA'$ であることを考慮し、 $BB' : PQ$ を n で表せ。
- ⑥ $\triangle FQP \sim \triangle FB'B$ であることを考慮し b, f, n の関係を求めよ。

解説

- (1) ① θ ② θ ③ 二等辺三角形 ④ 等しい ⑤ 等しい

- ⑥ 中点 ⑦ $\frac{1}{2}R$ ⑧ 焦点を通るように反射する。

- ⑨ 光軸に平行に進む

- (2) ① $f : (a - f)$ ② $1 : n$ ③ $f : (a - f) = n : 1$ より、 $f = n(a - f)$

- ④ $(b - f) : f$ ⑤ $n : 1$ ⑥ $(b - f) : f = n : 1$ より、 $nf = b - f$

- ⑦ ③を展開して $f = na - nf$ ⑥を代入して $f = na - b + f$ よって、 $n = \frac{b}{a}$

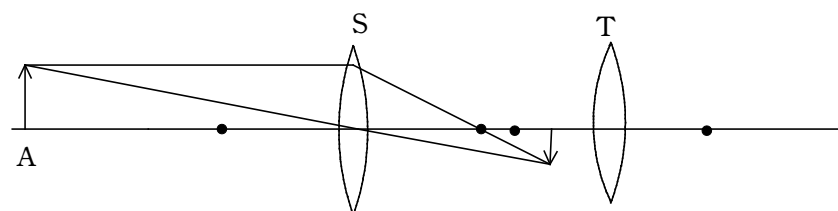
- ⑧ ⑥を④に代入して $\frac{fb}{a} = b - f$ よって、 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

レンズ

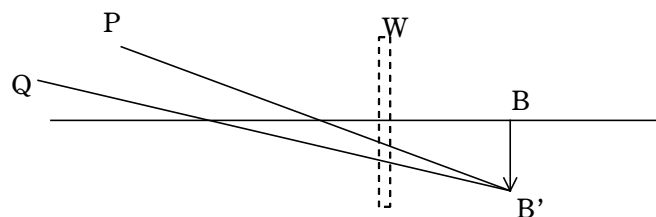
- ⑦ ③⑥より、像の倍率 n を a, b で表せ。
 ⑧ a, b, f の関係を求めよ。

122. 組み合わせレンズ

- (1) 焦点距離30cmの凸レンズSと焦点距離20cmの凸レンズTを60cm離して設置し、Sより90cm左側に長さ10cmの物体を置いた。これに関して以下の問いに答えよ。



- ① この物体の実像はレンズSより何cm右側にできるか。
 ② この像の大きさは何cmか
 ③ この像は凸レンズTの何cm左側にあるか
 ④ 像は光が一点に集まっているところであると同時に、放射状に光が出ている点でもある。この像の位置に物体があると考えると複数のレンズを組み合わせた問題を解くことができる。この考え方で凸レンズTによる像の位置を作図せよ。
 ⑤ レンズTでできる像の位置はレンズTの何cm左か。
 ⑥ この像の大きさは何cmか
 (2) 下図は光線P,Qがレンズにより曲げられ、B'に集まっている様子を示している。BB'にレンズの実像ができている。この状態で、Wの位置に凹レンズを挿入することにした。これについて以下の問いに答えよ。



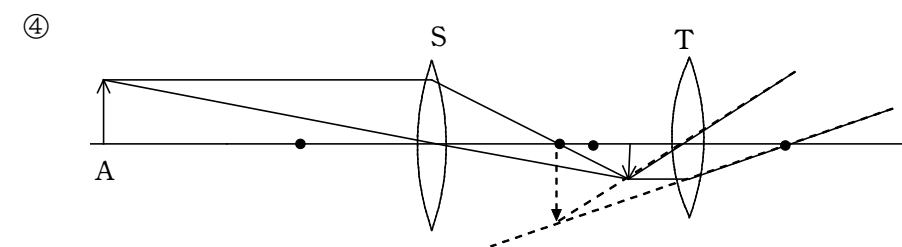
- ① 光線P、Qだけでは凹レンズによる屈折状況が分からないので、光軸に平行な光線Rと凹レンズの中心を通過する光線Sを追加せよ。
 ② 下の図は凹レンズを挿入した後の図である。○は凹レンズの焦点である。凹レンズによって光線R、Sはどのように曲げられるか。作図で示せ

解説

(1) ① $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ より、 $\frac{1}{90} + \frac{1}{b} = \frac{1}{30}$ これを解くと $b = 45\text{cm}$

② 倍率は $n = \frac{b}{a} = \frac{45}{90} = \frac{1}{2}$ $10\text{cm} \times \frac{1}{2} = 5\text{cm}$

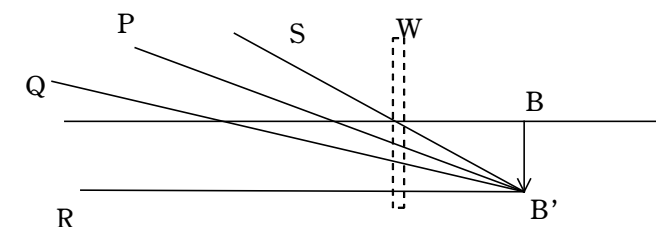
③ ST間は60cmなので $60 - 45 = 15\text{cm}$



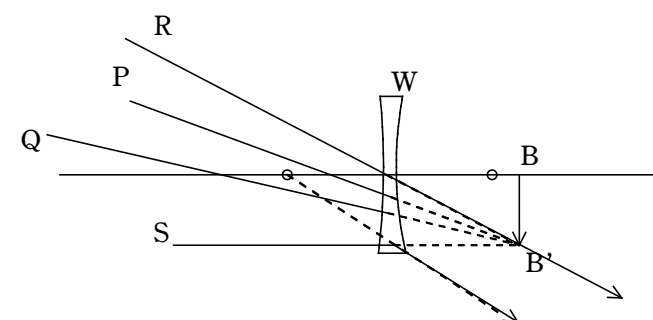
⑤ $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ より $\frac{1}{15} - \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$ これより、 $b = 60\text{cm}$

⑥ 倍率は $n = \frac{b}{a} = \frac{60}{15} = 4\text{倍}$ $5\text{cm} \times 4 = 20\text{cm}$

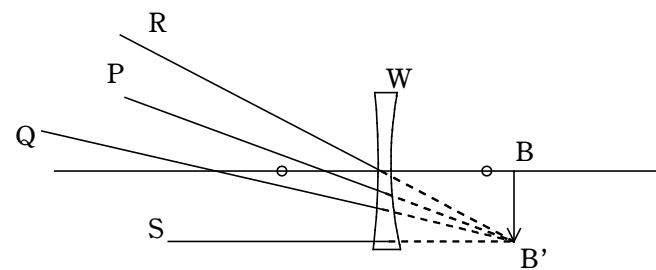
- (2) ①



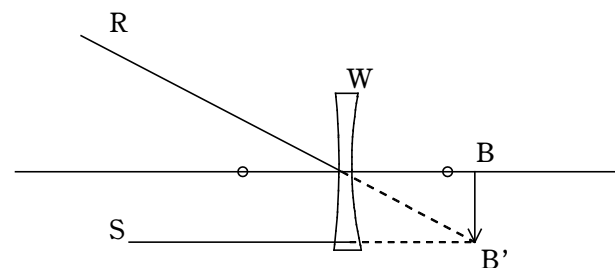
- ②



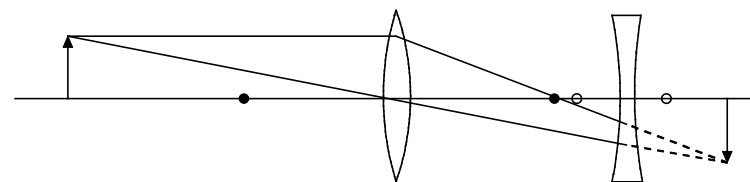
Rは直進、Sは焦点から出たように曲がる。



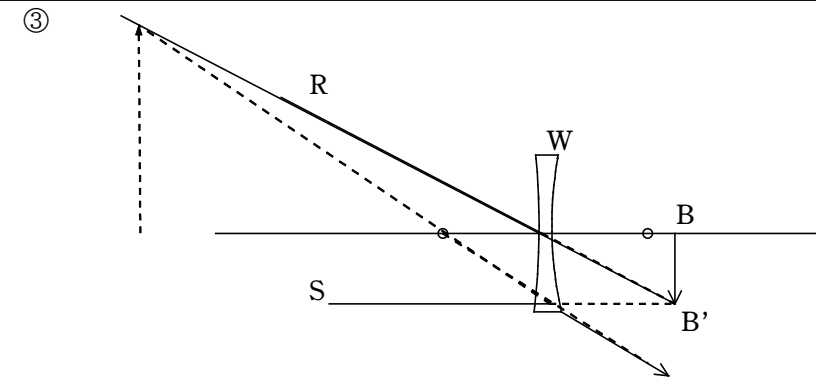
③ 像のできる位置を作図により示せ



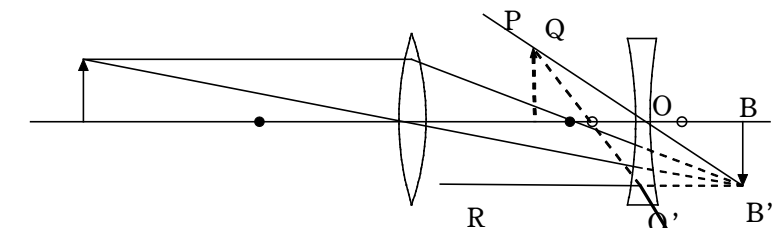
(3) 下図は焦点距離30cmの凸レンズと焦点距離8cmの凹レンズを50cm離して設置し凸レンズより60cm左に長さ10cmの物体を置いた。これについて以下の問いに答えよ。



- ① 凸レンズによるこの物体の像は凸レンズより何cm右側にできるか。
 - ② この像の大きさはいくらか
 - ③ この像の位置は凹レンズよりも何cm右にできるはずか。
- ・ この像ができるはずの位置には実際には像はできない。これは像の左側にある凹レンズによって光が屈折するためである。図の光線だけでは像の位置を作図できないので、凹レンズの中心を通る光と、光軸に平行に凹レンズに入射する光を作図して考えることにする。上図の光線の経路では凹レンズによる屈折が分かりにくいので、レン



- (3) ① $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ より、 $\frac{1}{60} + \frac{1}{b} = \frac{1}{30}$ よって、 $b = 60$
- ② $n = \frac{b}{a} = \frac{60}{10} = 6$ 。倍率は6倍 よって、60cm
- ③ 凹レンズは凸レンズから50cm離れているので、 $60 - 50 = 10$ cm右側
- ④

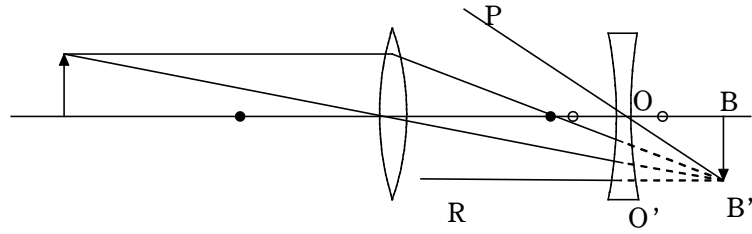


光Rは光軸に平行なので、焦点から出たように曲がる。

- ⑤ 光Rの経路を逆にたどることにより光Pとの交点を出せば、そこが像（虚像）である。
- ⑥ 凸レンズと同じ曲がり方をしている。
- ⑦ B'を光源とし、Qを実像とした凸レンズの屈折と同じなので、凸レンズのレンズの式が使える。 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ で、 $a = 10$ cm $f = 8$ cmである。よって、 $\frac{1}{10} + \frac{1}{b} = \frac{1}{8}$ $b = 40$ cm。凹レンズより40cm左
- ⑧ 像の大きさは $n = \frac{b}{a} = \frac{40}{10} = 4$ 倍 よって、40cm

レンズ

ズの中心を通る光Pと光軸に平行に入射する光Rを下图に作図した。



- ④ 光Rの凹レンズによる屈折後の経路を作図せよ。
- ⑤ 凹レンズのよる像の位置を作図せよ。
- ⑥ 光線P上の像のできる位置をQとし、 $B' \rightarrow O \rightarrow Q$ の光の経路と、 $B' \rightarrow O' \rightarrow Q$ の光の経路はあるレンズの光の経路と同じである。それはどのようなレンズか
- ⑦ 像のできる位置は凹レンズより何cm左か
- ⑧ この時の像の大きさはいくらか