

Geometrisk optik

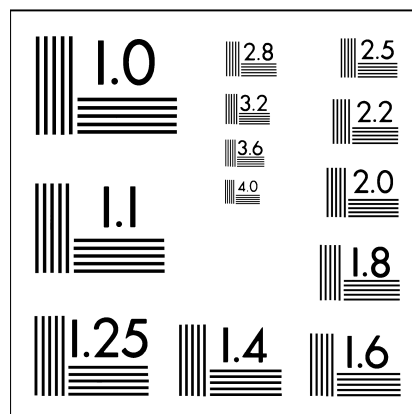
Förberedelser

Läs i vågläroboken om *avbildning med tunna linser* (sid 229 – 236), *ögat* (sid 271 – 273), *färg och färgseende* (sid 274), *additiv- och subtraktiv färgblandning* (sid 274 – 277), *glasögon* (sid 279 – 282), *kameran* (sid 282 – 291), *vin-kelförstoring* (sid 293 – 294), *förstoringsglas* (sid 294 – 295), *mikroskopet* (sid 295 – 297), och *kikare* (sid 297 – 302).

Gör följande uppgifter

Lösningarna inlämnas renskrivna vid laborationens början till handledaren för kontroll.

1. En äldre digitalkamera har ett objektiv med brännvidden 10 mm. Bildsensorn, dvs. den ljuskänsliga delen i kameran, har kvadratiska bildelement av storleken $7,5 \mu\text{m} \times 7,5 \mu\text{m}$. En testkarta med en mängd olika tätt liggande linjepar (se figuren) befinner sig 1,0 m från objektivet. Hur smala kan de svarta strecken (på testkartan) vara om de ska kunna upplösas av digitalkameran? Observera att i det här fallet begränsas upplösningen enbart av bildelementens storlek.

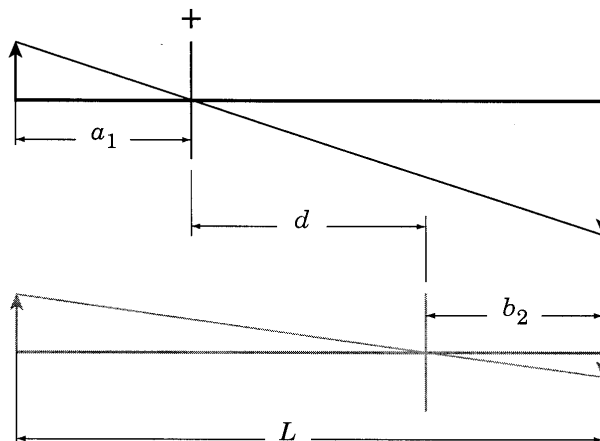


Svar: 0,74 mm. Övertyga dig om att du förstår varför svaret inte blir 0,75 mm.

2. Brännvidden för en positiv lins kan bestämmas på följande sätt. Om avståndet L mellan objekt och bild är större än $4f$ så finns det två linsplaceringar som ger skarp bild. Kalla avståndet mellan linsens två möjliga placeringar d . (Se figuren på nästa sida.) Med hjälp av L och d kan f bestämmas. Visa att

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4 \cdot L}$$

Ledning: Skriv ner Gauss linsformel med hjälp av f , a_1 och b_1 . Eftersom $b_2 = a_1$ (av symmetriskäl, se figuren) blir $L = 2a_1 + d$. Notera också att $b_1 = L - a_1$.



3. En positiv lins är uppställd på en optisk bänk. Om optiska axeln är en x -axel så är den positiva linsen placerad vid $x = 0$ mm. Bilden från den positiva linsen finns då vid $x = 1200$ mm. Om nu en lins L2 placeras vid $x = 1000$ mm kommer bilden från L1 att avbildas vidare och slutbilden hamnar vid $x = 1400$ mm. Bestäm brännvidden hos lins L2.

Svar: -400 mm

4. För att bestämma bildsensorns och bildelementens storlek i en iPhone 5s fotograferades två korsade linjaler på avståndet 365 mm. När man sedan tittade på bilden syntes 115 mm av den horisontella linjalen och 86 mm av den vertikala. Använd tabellen intill för att lösa uppgifterna nedan. Objektivet kan behandlas som en tunn lins.

a) Hur långt från objektivets brännpunkt ska bildsensorn sitta om bilden ska bli skarp?

b) Hur stor är kamerans bildsensor?

c) Kameran har kvadratiska bildelement. Hur stor sida har bildelementen?

Svar: **a)** $47 \mu\text{m}$ **b)** $1,31 \text{ mm} \times 0,977 \text{ mm}$

c) $0,40 \mu\text{m}$.

Modell	Brännvidd / mm	Antal / Mpx
Apple iPhone 4	3,85	5
Apple iPhone 4S	4,28	8
Apple iPhone 5	4,10	8
Apple iPhone 5C	4,28	8
Apple iPhone 5S	4,1	8
Samsung Galaxy S3	3,7	8
Samsung Galaxy S4	4,2	13
Samsung Galaxy S5	4,8	16
Nexus 4	4,6	8
Nexus 5	4,0	8
Sony Xperia Z	4,1	13,1
Sony Xperia Z1	4,9	20,7
Sony Xperia Z2	4,9	20,7
Sony Xperia Z Ultra	3,0	8
HTC One (M8)	3,8	4
LG G2	4,0	13

Utförande

Uppgifterna 1 och 2 genomförs vid de långa optiska bänkarna medan uppgifterna 3, 4 och 5 genomförs vid de korta.

1. Undersökning av tunna positiva linser

- a)** Placera en ljuskälla, ett föremål, linsen märkt L1 samt en skärm på den optiska bänken. Se till att avståndet mellan föremål och skärm är större än 1 meter. Skapa en skarp bild av föremålet på skärmen. Notera att det finns två möjligheter – ett ”projektorläge” och ett ”kameraläge”. Använd projektorläget och mät de sträckor som behövs för att bestämma L1:s brännvidd f_1 och avbildningens lateralförstoring M .
- b)** Bestäm brännvidden med metoden som beskrivs i förberedelseuppgift 2. Notera att d är just avståndet mellan linsens projektor- och kameraläge.
- c)** Använd valfri metod för att bestämma brännvidd och brytningsstyrka på en av de positiva glasögonlinserna.
- d)** Beräkna avståndet $a + b$ uttryckt i linsen L1:s brännvidd när lateralförstoringen $M = -1$. Kontrollera resultatet med hjälp av den optiska bänken.

2. Undersökning av tunna negativa linser

- a)** Bestäm brännvidden f_2 på lins L2 med hjälp av linsen L1 enligt metoden som används i förberedelseuppgift 3.
- b)** Bestäm brännvidden och brytningsstyrkan på någon av de negativa glasögonlinserna.

3. Galileikikaren

- a)** Bygg med hjälp av lämpliga linser en Galileikikare (teaterkikare) med vinkelförstoringen $G = 3$. Normalställ kikaren genom att beräkna kikarlängden L för de linser du valt, och ställ in detta avstånd mellan objektiv och okular. Titta på väggkartan med strecken. Kikaren behöver säkert justeras något eftersom avståndet till väggen inte är särskilt långt. Försök se på strecken med båda ögonen öppna (dvs genom kikaren och bredvid) och kontrollera på så vis att vinkelförstoringen verkligen är 3 gånger. Rita strålgången genom din normalställda teaterkikare i svarshäftet.
- b)** Bygg med hjälp av samma linser som i a-uppgiften en kikare med vinkelförstoringen $G = 1/3$. I vilka sammanhang används denna typ av kikare?

4. Keplerkikaren

- a)** Bygg med hjälp av lämpliga linser en Keplerkikare med vinkelförstoringen $G = 4$. Normalställ kikaren genom att beräkna kikarlängden L för de linser du valt, och ställ in detta avstånd mellan objektiv och okular. Justera linsavstånden så att strecken på väggkartan syns skarpt. Försök se på strecken både genom kikaren och bredvid och kontrollera på så vis att vinkelförsto-

ringen verkligen är 4 gånger. Rita strålgången genom din normalställda Keplerkikare i svarshäftet. Vad skiljer framför allt Keplerkikaren från Galileikikaren?

b) Nu ska du med hjälp av tre positiva linser med brännvidderna 50 mm, 100 mm och 200 mm bygga en terresterkikare, dvs en Keplerkikare med en bildväндarlin (M = -1) i mitten. Börja med att beräkna avstånden och gör kikaren så kompakt som möjligt!

5. Mikroskopet

Bygg ett normalställt mikroskop med hjälp av två positiva linser med brännvidderna 50 mm och 100 mm. Tubllängden (avståndet mellan objektivets och okularets brännpunkter) ska vara 160 mm. Beräkna mikroskopets förstoring och kontrollera att svaret är rimligt genom att "använda" mikroskopet. Använd en belyst mattglasskiva som föremål och justera mikroskopbilden genom att flytta på föremålet.

6. Digitalkameran/Mobilkameran

a) Bestäm, med hjälp av metoden i förberedelseuppgift 4, hur stor bildsensorn i en digitalkamera – eller i din egen mobil – är.

b) Beräkna bildelementens storlek. Du får förutsätta att dessa är kvadratiska.

7. Färgsammansättning hos bilder på skärm och bilder i tryck

a) I mappen "Geometrisk optik" finner du ett foto som heter "Laos". Öppna bilden i Paint. Använd en lupp för att studera bilden på skärmen. Vilka färger avger bildskärmen? Beskriv färginnehållet i ett vitt, ett svart och ett gult område på fotot.

b) Öppna bilden "Färger" i Paint. Analysera färginnehållet i respektive fält med hjälp av pipett-verktyget. Hämta pipetten (från verktygen) och klicka med denna på den färg du vill analysera. Färgens tre färgkoordinater R, G och B anges då. I ett helrött område är R = 255, G = 0 och B = 0. Här lyser alltså alla röda punkter med maximal intensitet medan alla gröna och blåa punkter är släckta (minimal intensitet är alltså 0.)

Vad kallas de tre färgerna i mittenraden och hur är de uppbyggda?

c) Studera en sedel och en tryckt tidningsbild med hjälp av en lupp. Av vilka färger är bilderna uppbyggda? Hur trycks en sedel respektive en tidning?

Geometrical optics (ray optics)

Translated to English from the Swedish lab instruction. Book chapter recommended reading also translated but not usable for not Swedish capable.

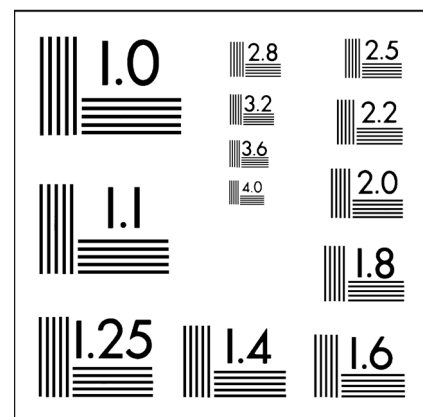
Preparation reading

Read the book “Våglära och optik by Göran Jönsson”, *imaging with thin lenses* (pages 229 - 236), *the eye* (pages 271 - 273), *color and color vision* (pages 274), *additive and subtractive color mix* (pages 274 - 277), *glasses* (pages 279 - 282), *the camera* (pages 282 - 291), *angular magnification* (pages 293 - 294), *magnifying glass* (pages 294 - 295), *the microscope* (pages 295 - 297), and *binoculars* (pages 297 - 302).

Preparation questions

The solutions, or attempts to solutions must be given to the supervisor for control at the beginning of the laboratory session in order for the student to be allowed to carry out to the lab.

1. An old digital camera has a 10 mm focal length lens. The image sensor, that is the light-sensitive part of the camera, has square image elements (pixels) of size $7.5 \mu\text{m} \times 7.5 \mu\text{m}$. A test map with a variety of closely spaced line pairs (see figure to the right) is located 1.0 m from the lens. How narrow can the black bars (on the test card) be for them to be resolved by the digital camera? Note that in this case the resolution is limited only by the size of the pixels.

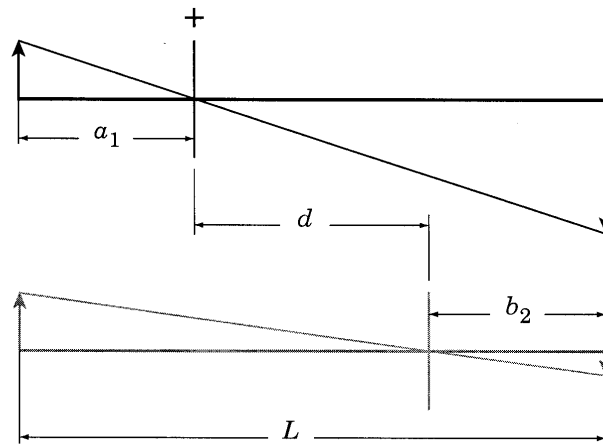


Answer: 0.74 mm. Convince yourself that you understand why the answer is not 0.75 mm.

2. The focal length of a positive lens can be determined as follows. If the distance L between object and image is greater than $4f$, there are two lens positions that result in a sharp image. Call the distance between the two possible positions of the lens d . (See figure on next page.) Using L and d , f can be determined. Show that

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4 \cdot L}$$

Tip: Write down Gauss lens formula using f , a_1 and b_1 . Since $b_2 = a_1$ (for symmetry reasons, see the figure) $L = 2a_1 + d$. Also note that $b_1 = L - a_1$.



3. A positive lens is placed on an optical bench. Let the optical axis be the x -axis. The positive lens is located at $x = 0$ mm. The image created by the positive lens is then at $x = 1200$ mm. If a lens L_2 then is placed at $x = 1000$ mm, the image from L_1 will be imaged further, and the final image will be at $x = 1400$ mm. Determine the focal length of lens L_2 .

Answer: -400 mm

4. To determine the size of the image sensor and the image elements in an iPhone 5s, two crossed rulers were spaced 365 mm apart and photographed. When observing the image, 115 mm of the horizontal ruler and 86 mm of the vertical were visible. Use the table to the right to answer the questions below. The lens can be considered to be a thin lens.

- How far from the focal point of the lens should the image sensor be placed if the image is to be sharp?
- How large is the image sensor of the camera?
- The camera has square pixels. How long is the side of a pixel?

Answer: a) $47 \mu\text{m}$ b) $1.31 \text{ mm} \times 0.977 \text{ mm}$
c) $0.40 \mu\text{m}$.

Model	Focal length / mm	Number / Mpx
Apple iPhone 4	3,85	5
Apple iPhone 4S	4,28	8
Apple iPhone 5	4,10	8
Apple iPhone 5C	4,28	8
Apple iPhone 5S	4,1	8
Samsung Galaxy S3	3,7	8
Samsung Galaxy S4	4,2	13
Samsung Galaxy S5	4,8	16
Nexus 4	4,6	8
Nexus 5	4,0	8
Sony Xperia Z	4,1	13,1
Sony Xperia Z1	4,9	20,7
Sony Xperia Z2	4,9	20,7
Sony Xperia Z Ultra	3,0	8
HTC One (M8)	3,8	4
LG G2	4,0	13

Table 1. Data for some cellular phones. Thanks to Emil Ljungberg, F10.

Experiments

Tasks 1 and 2 are carried out at the long optical benches while tasks 3, 4 and 5 are carried out at the short ones.

1. Thin positive lenses

- a) Place a light source, an object, the lens labeled L1 and a screen on the optical bench. Make sure that the distance between the object and the screen is greater than 1 meter. Create a sharp image of the object on the screen by use of the equipment. Note that there are two options that can be used in order to get an image on the screen - a "projector mode" and a "camera mode". Use the projector mode and measure the distances needed to determine the focal length f_1 of L1 and the lateral magnification M of the image (the ratio of image length to object length measured perpendicular to the optical axis).
- b) Determine the focal length using the method described in Preparation question 2. Note that d is the distance between the lens projector position and its camera position.
- c) Use a method of your choice to determine the focal length and refractive strength of one of the positive eyeglass lenses in the lab.
- d) Calculate the distance $a + b$ expressed in the focal length of the lens L1 when the lateral magnification $M = -1$. Check the result using the optical bench.

2. Thin negative lenses

- a) Determine the focal length f_2 of lens L2 using lens L1 according to the method used in preparation question 3.
- b) Determine the focal length and refractive power of one of the negative eyeglass lenses in the lab.

3. The Galilean binocular

- a) Construct a Galilean binocular (theater binoculars) with an angular magnification of $G = 3$ using suitable lenses. Normalize the binoculars experimentally by calculating the binoculars length L for the lenses you have chosen, and set this distance between objective and eyepieces. Look at the wall map with the lines. The binoculars probably need to be adjusted, as the distance to the wall is short. Try to look at the lines with both eyes open (that is through the binoculars and next to it) and confirm that the angular magnification really is 3 times. Draw the rays for the image through your normalized theater binoculars in the answer booklet.
- b) Construct a binocular with an angle magnification of $G = 1/3$ using the same lenses as in the a-assignment. In what contexts is this type of binoculars used?

4. Kepler binoculars

- a) Using suitable lenses, construct a Kepler binoculars with the angular magnification $G = 4$. Normalize the binoculars by calculating the binoculars length L for the lenses you have selected, and set this distance between objective and eyepiece. Adjust the lens distances such that the lines on the wall map are sharply visible. Try to look at the line both through the binoculars and next to it and confirm that the angular magnification is 4 times. Draw the rays forming the image through your normalized Kepler binoculars in the answer booklet. What in particular distinguishes the Kepler binoculars from the Galilean binoculars?
- b) Using three positive lenses with focal lengths 50 mm, 100 mm and 200 mm, you will build a terrestrial binoculars, that is a Kepler binoculars with an image reversal lens ($M = -1$) in the

center. Start by calculating the distances to be set between lenses and make the binoculars as compact as possible!

5. The microscope

Build a normalized microscope using two positive lenses with focal lengths of 50 mm and 100 mm. The tube length (the distance between the focal points of the lens and the eyepiece) should be 160 mm. Calculate the magnification of the microscope and verify that the answer is reasonable by "using" the microscope. Use an illuminated dull glass plate as an object and adjust the microscope image by moving the object.

6. The digital camera / cellular phone

a) Determine, using the method in Preparation question 4, the size of the image sensor in a digital camera - or in your own mobile phone.

b) Calculate the size of the pixels. You can assume that they are squares.

7. Color composition of images on screen and images in print

a) In the folder "Geometrisk optik" you will find a photo called "Laos". Open the image in Paint. Use a magnifying glass to study the image on the screen. Which colors does the monitor emit? Describe the color content of a white, black and yellow area in the photo.

b) Open the "Färger" image in the program Paint. Analyze the color content of the respective fields using the pipette-tool. Use the pipette (from the tools) and click on the color you want to analyze. The three-color values R, G and B are then shown. In a fully red area, $R = 255$, $G = 0$ and $B = 0$, all red dots are lit with maximum intensity while all green and blue dots are off (minimum intensity is 0.)

What are the three colors in the middle row called, and how are they constructed?

c) Study a banknote and a printed newspaper image using a magnifying glass. Which colors are the pictures made up of? How is a banknote and newspaper printed?