



וובינר בנושא:

עקרונות בסיס באופטיקה
המתארים איך בנוי מכלול עדשה,
ופרמטרים לאיכותה.

המרצה:

דוד פיש

David Fisch

f99.david@gmail.com

054-2405211

לשכת מהנדסים
האדריכלים והאקדמאים
במקצועות חשבונאות ולוגיים
בישראל

AEAi



יצא לכם פעם לבחור או להשתמש בעדשה למערכת אופטית,
ולא הבנתם את ההבדל בין עדשה זולה העולה דולרים בודדים
לבין עדשה יקרה שמחירה מאות או אלפי דולרים ואף יותר?



במה מתבטא ההבדל באיכות ביניהן וממה הוא נגרם?
כיצד זה משפיע על המחיר?



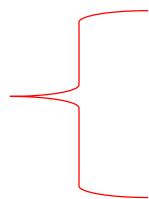
US \$3.69



US \$2,146

תוכן ההרצאה:

מבוא



- איך עובדת עדשה בודדת (חוק סנל, מוקד)
- יצירת דמות על ידי העדשה (מקום עצם דמות והגדלה)

- מפרט דרישות (הגדלה, גודל השדה, ספקטרום, חדות\רזולוציה, רגישות לתנאי סביבה)

- גורמי טשטוש (המקלקלים את החדות) והדרך להתגבר עליהם
- הפרמטרים המשפיעים על מחירה של העדשה

- סיכום

מילון מונחים להגדרת "עדשה":

* מכלול עדשות
(לפעמים "עדשה")

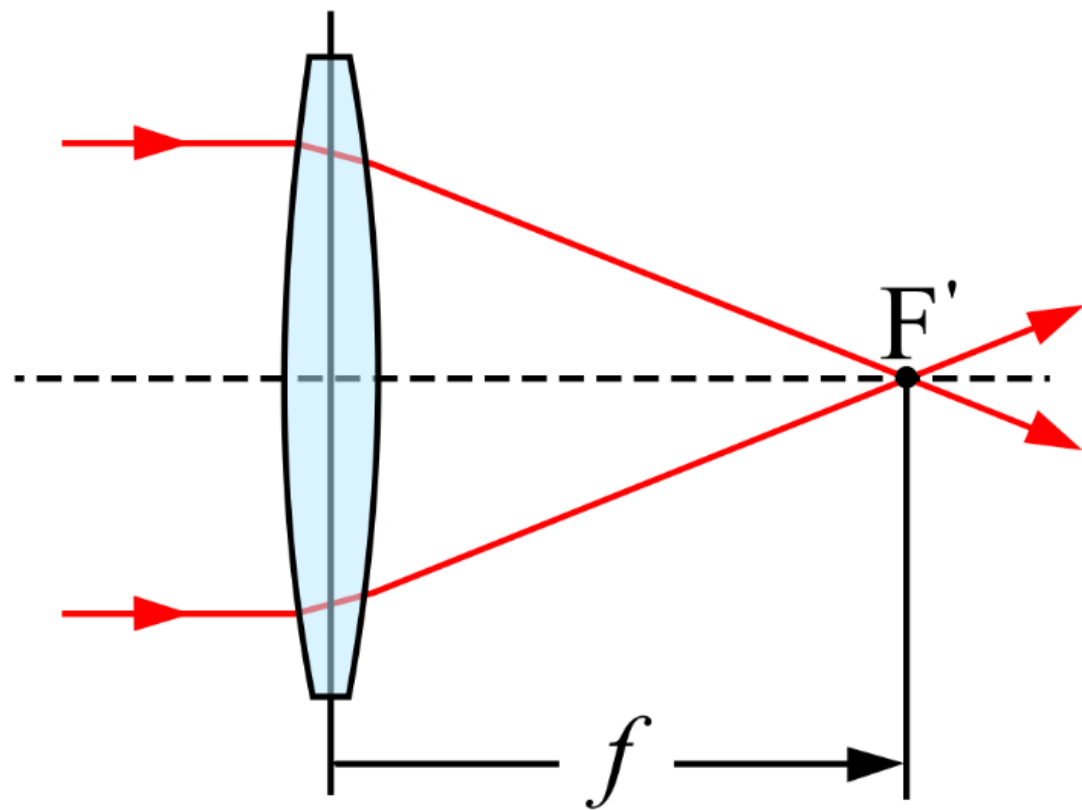


* עדשה בודדת
Singlet

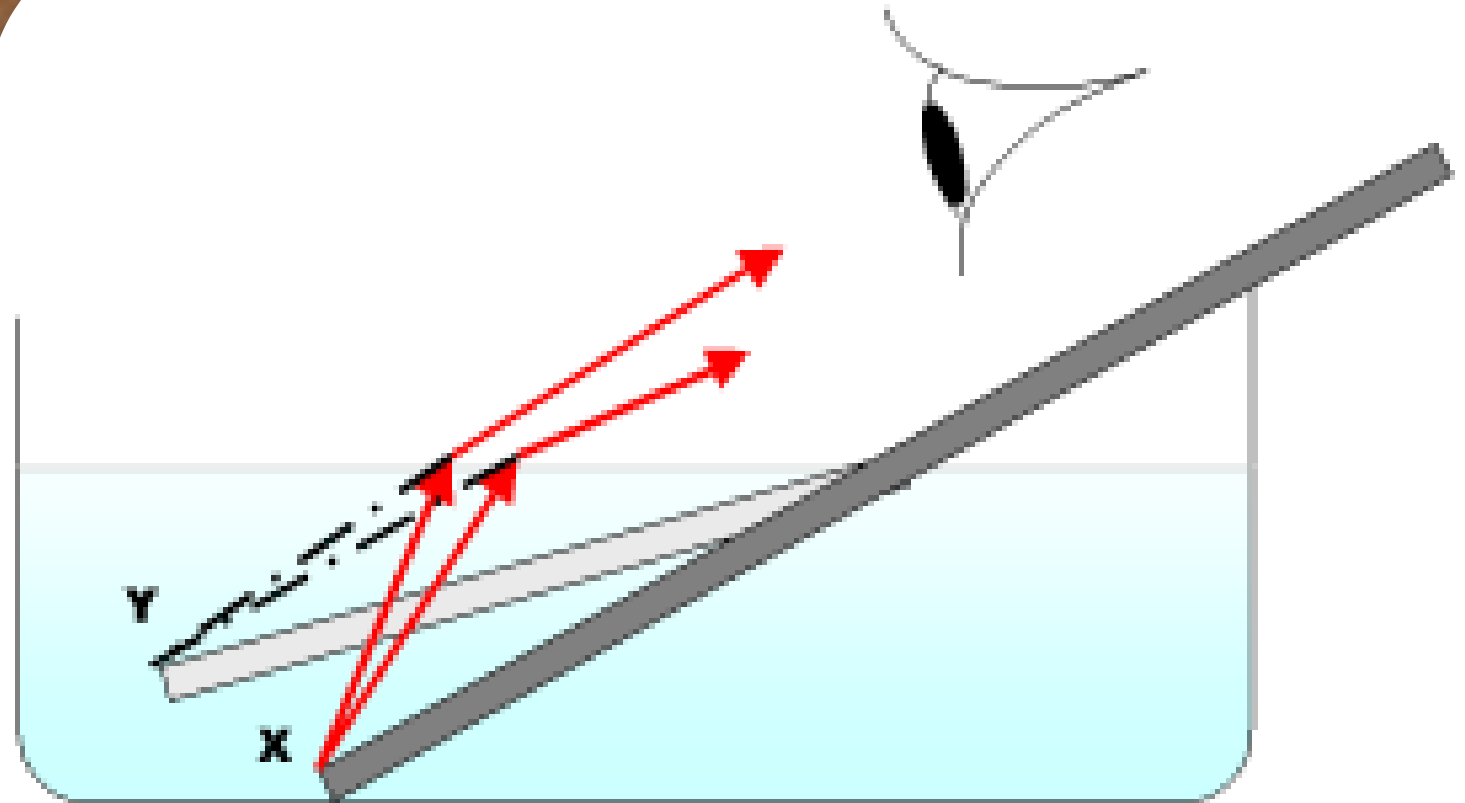
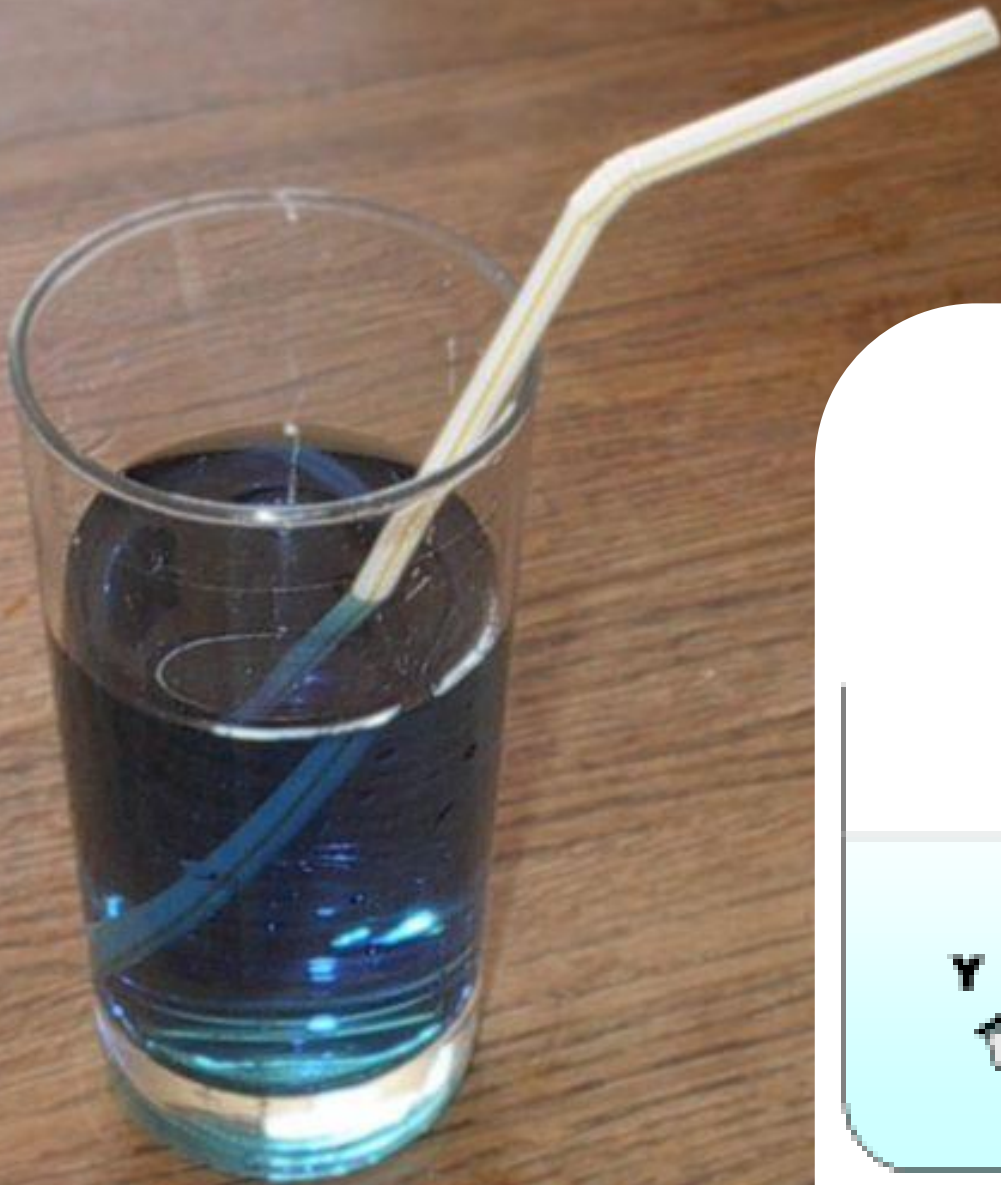




איך עובדת עדשה בודדת

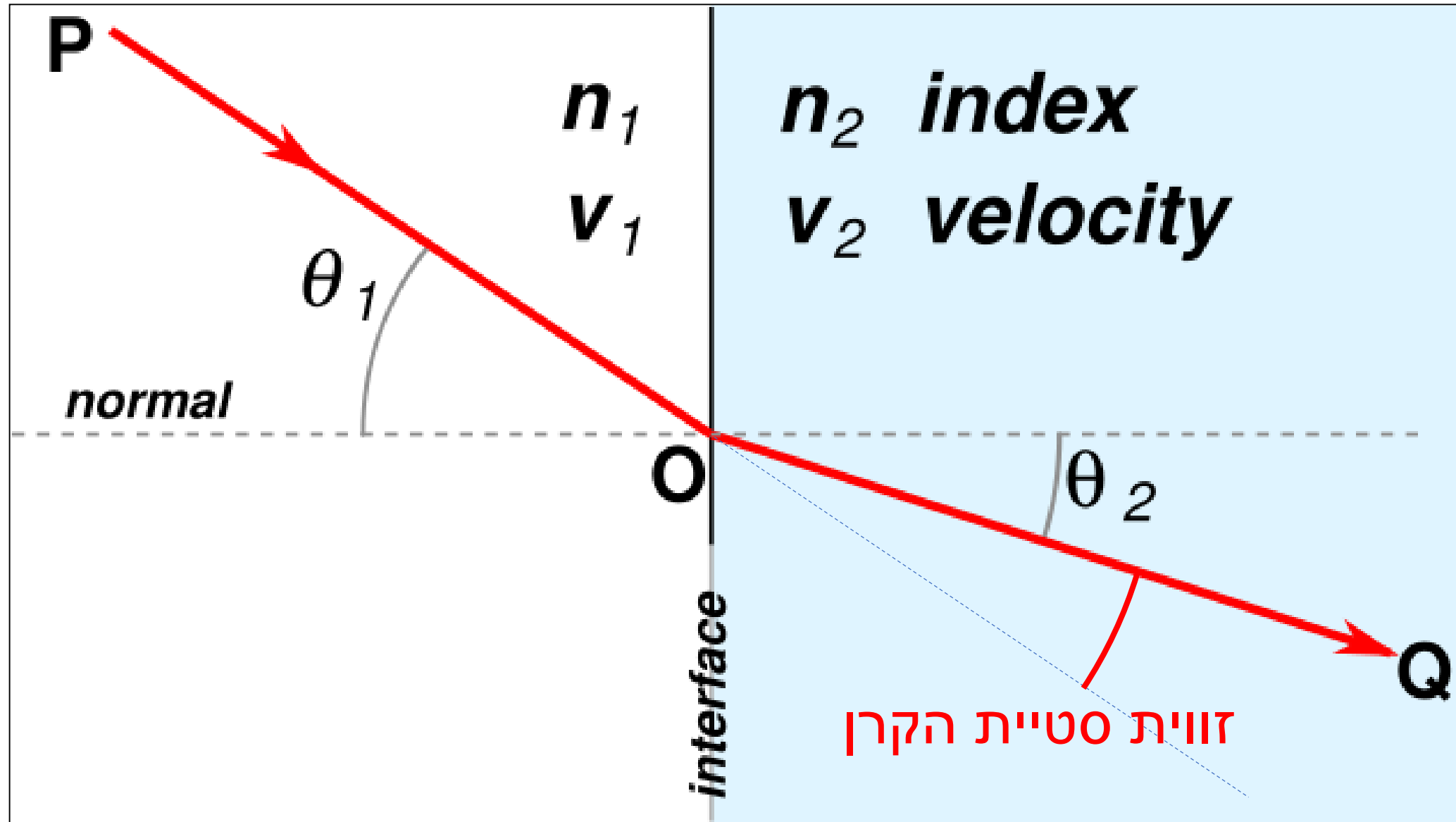


תופעת השבירה

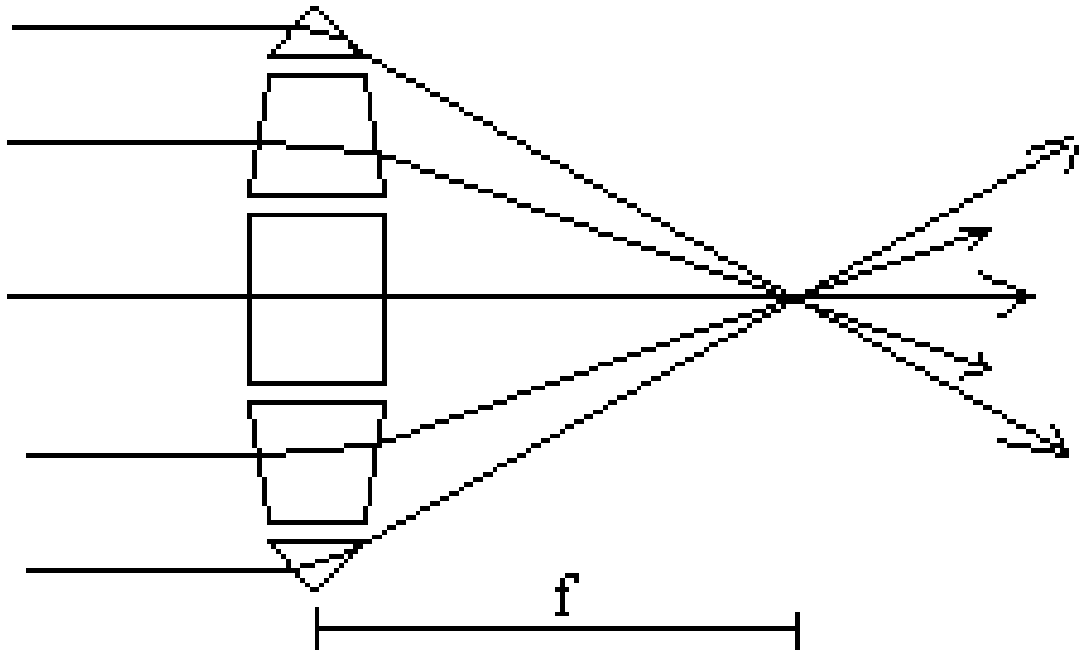
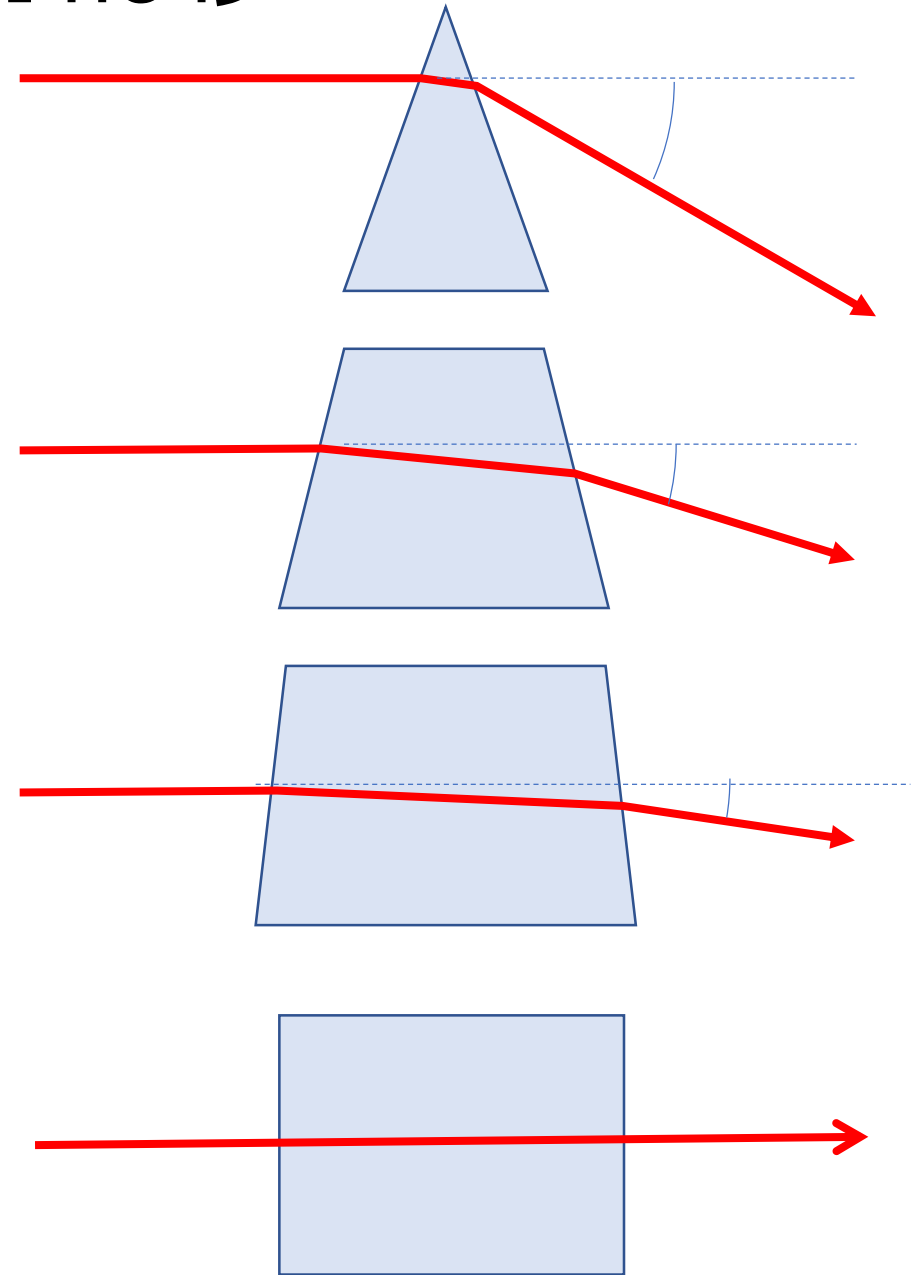
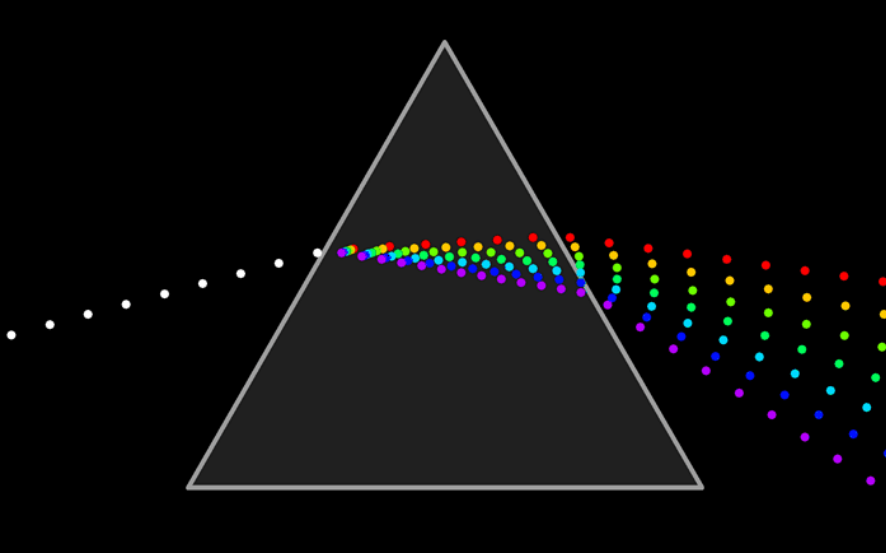


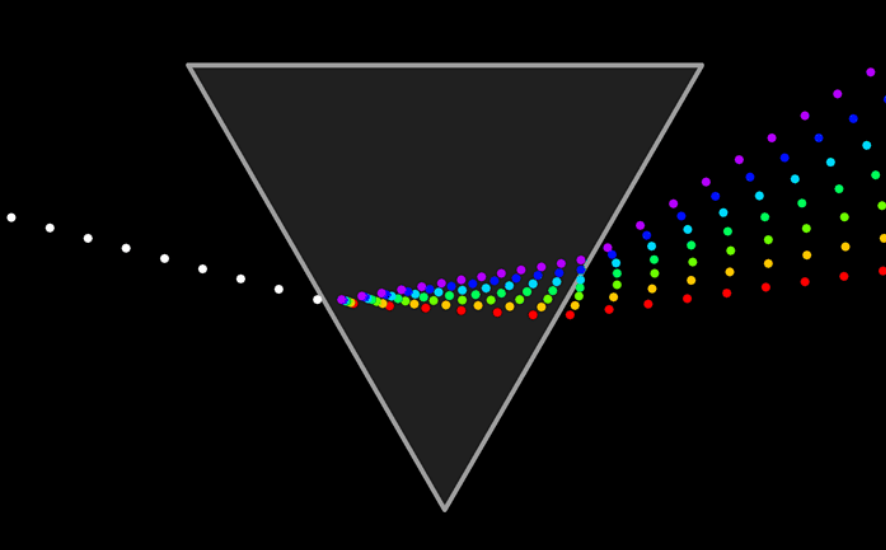
$$n_1 * \sin(\theta_1) = n_2 * \sin(\theta_2)$$

חוק סנל:

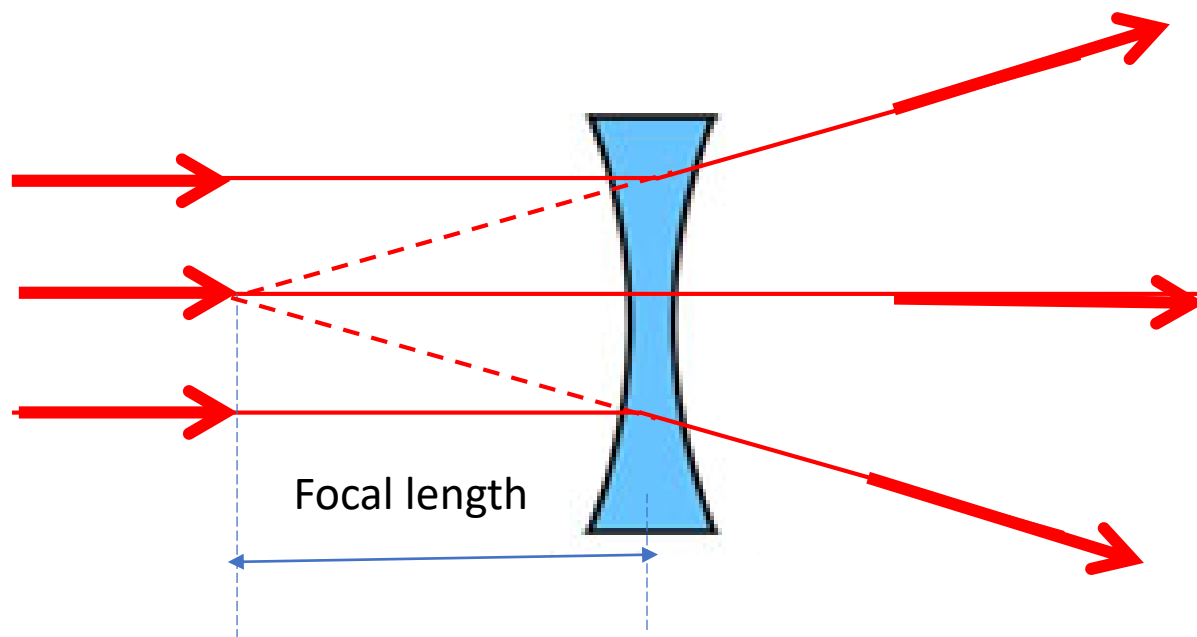
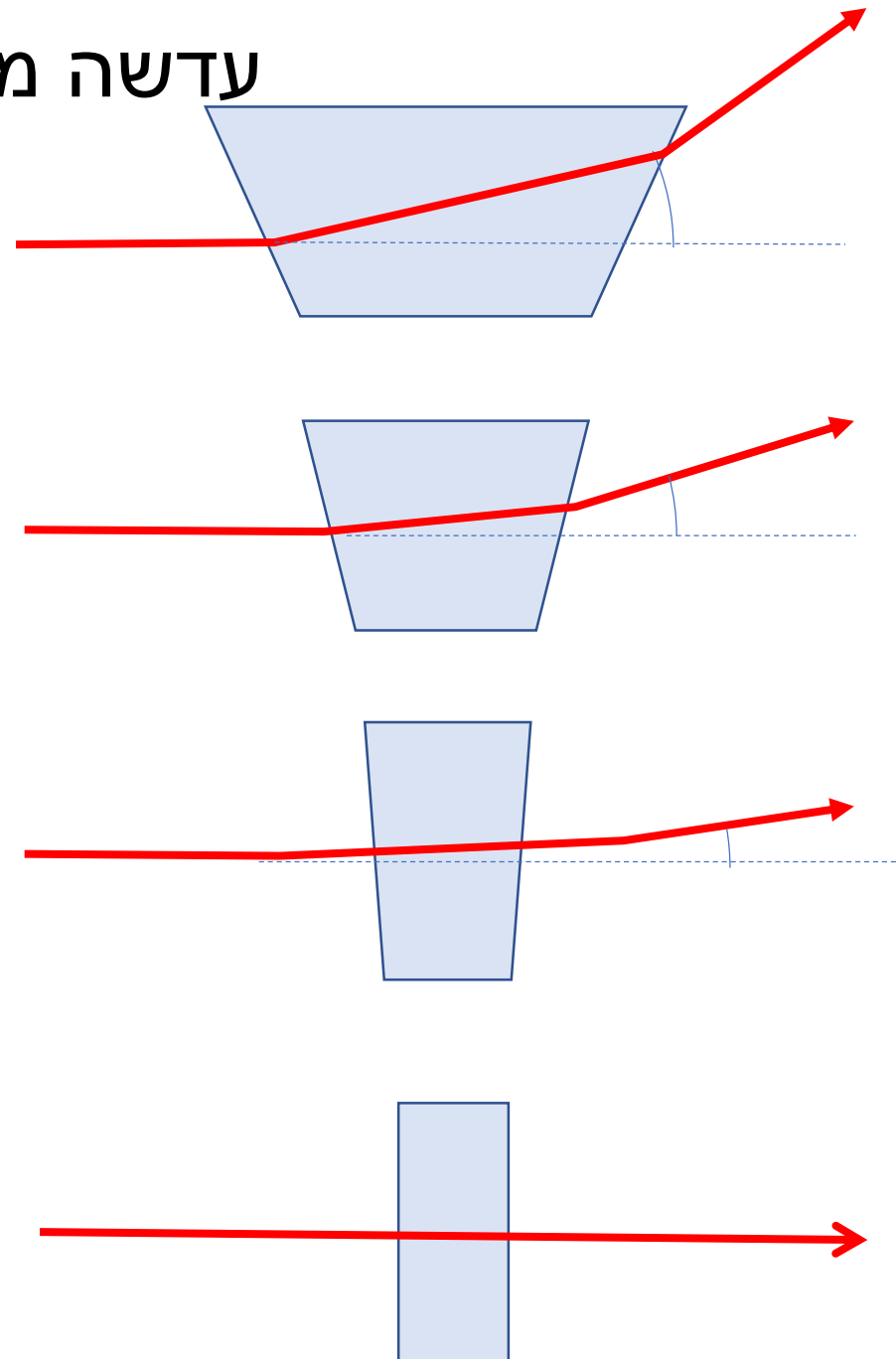


עדשה מרכזת (חיובית)

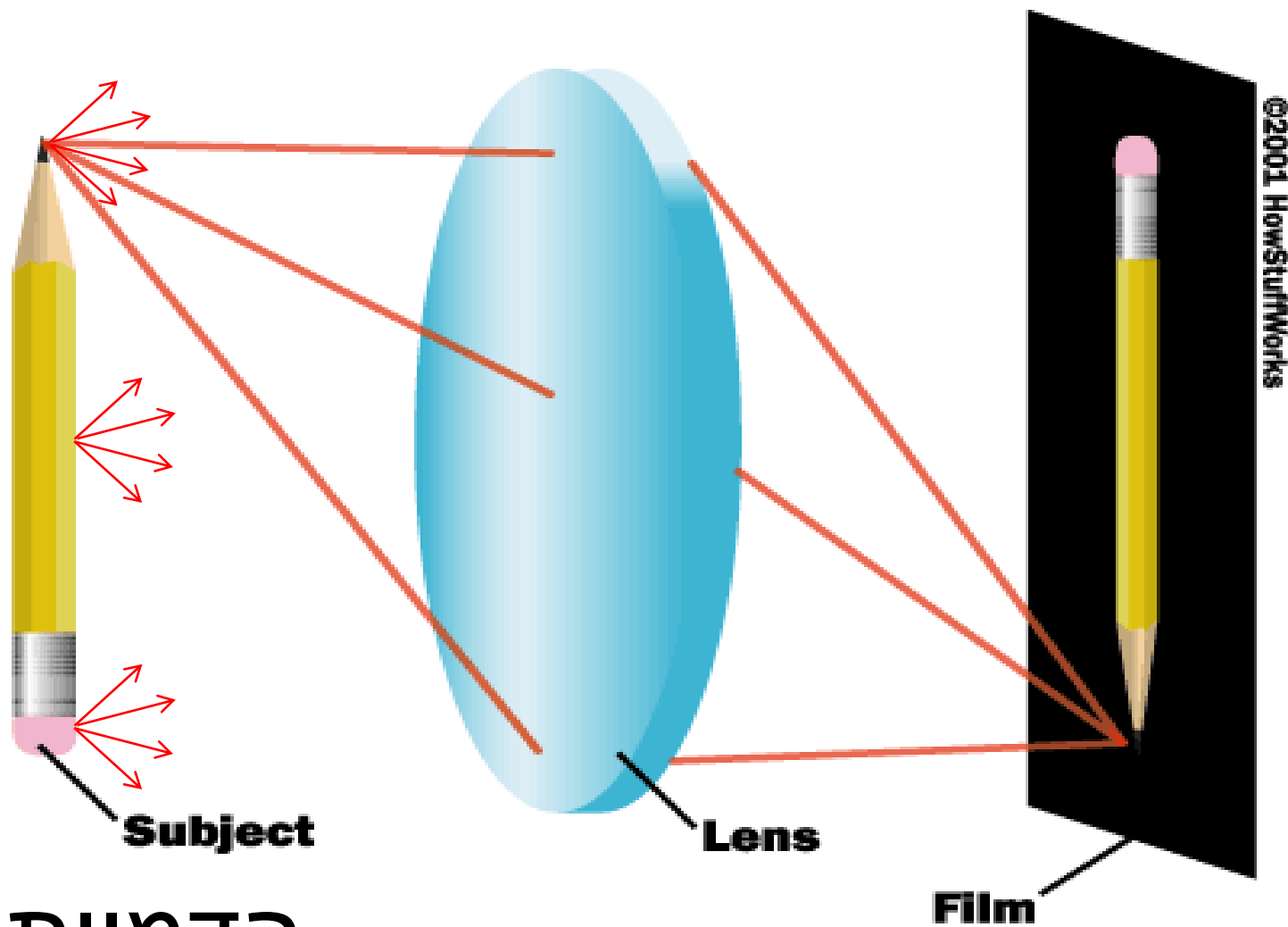




עדשה מפזרת (שלילית)

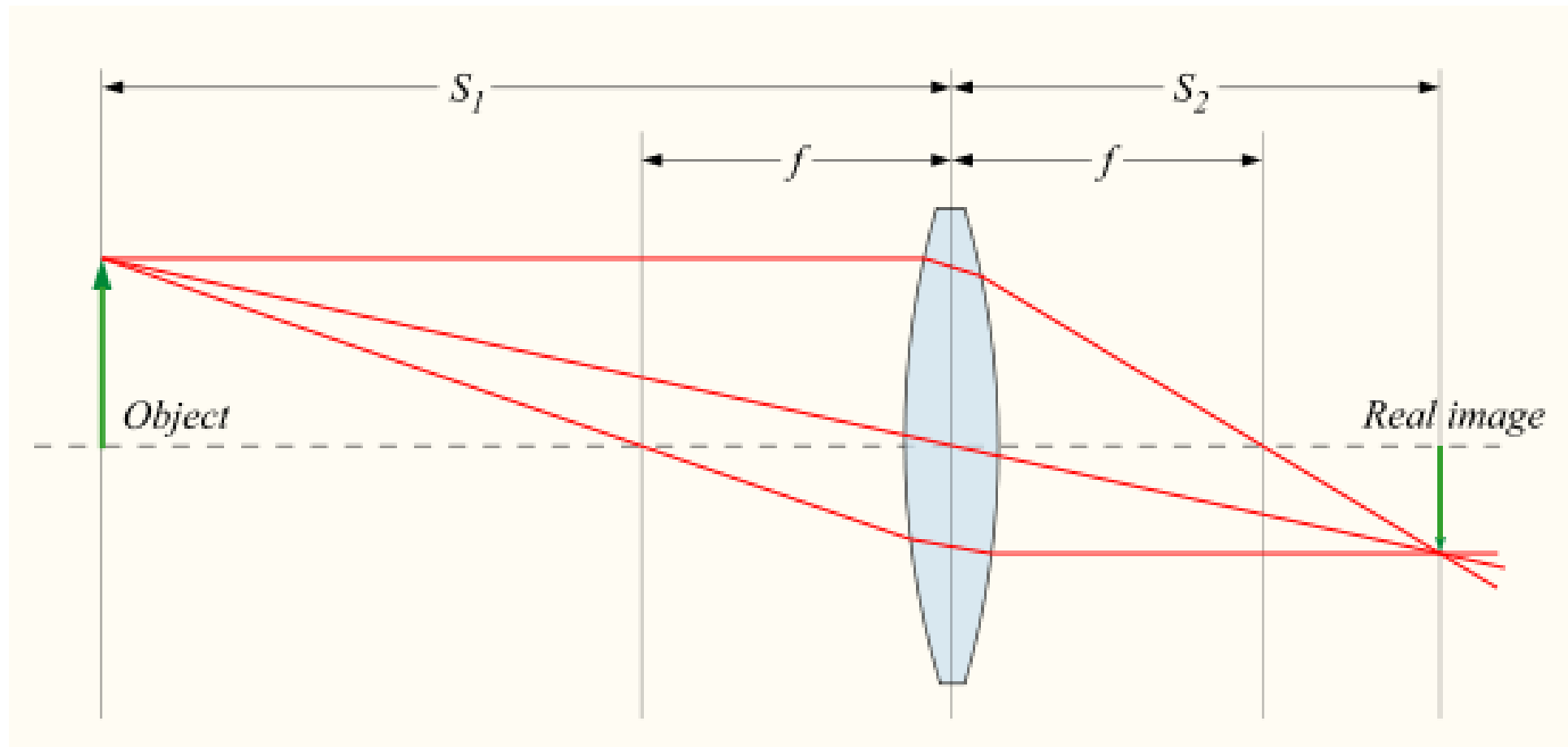


יצירת דמות על ידי העדשה

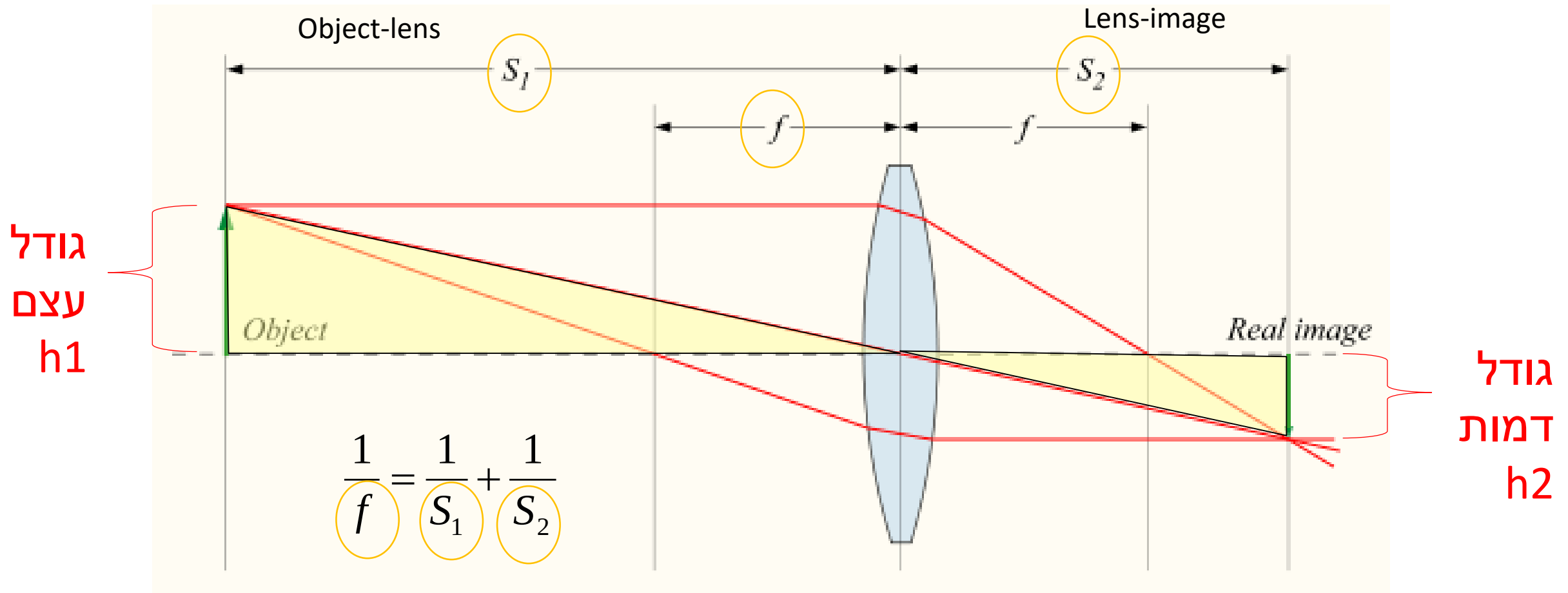


הדמיית נקודה לנקודה

עצם-דמות-עדשה מיקומים ומרחקים

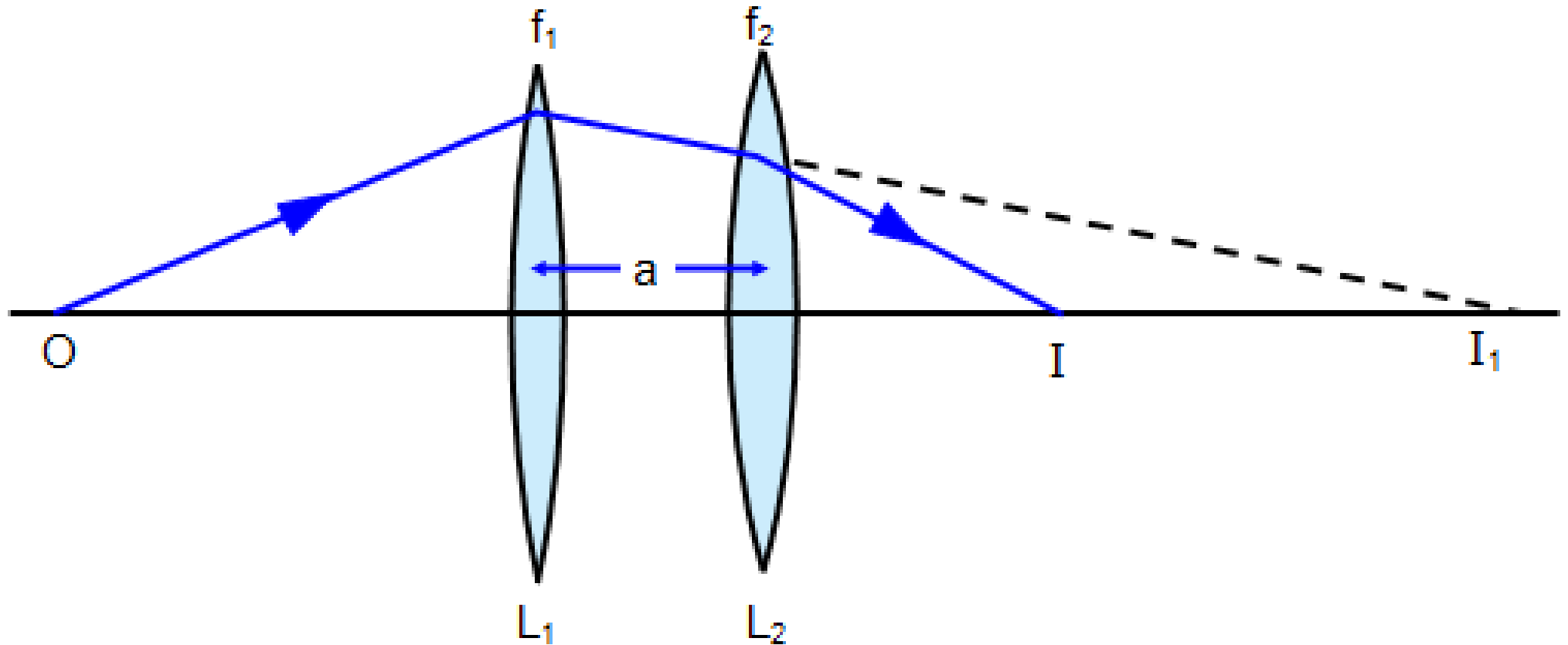


עצם-דמות-עדשה מיקומים ומרחקים

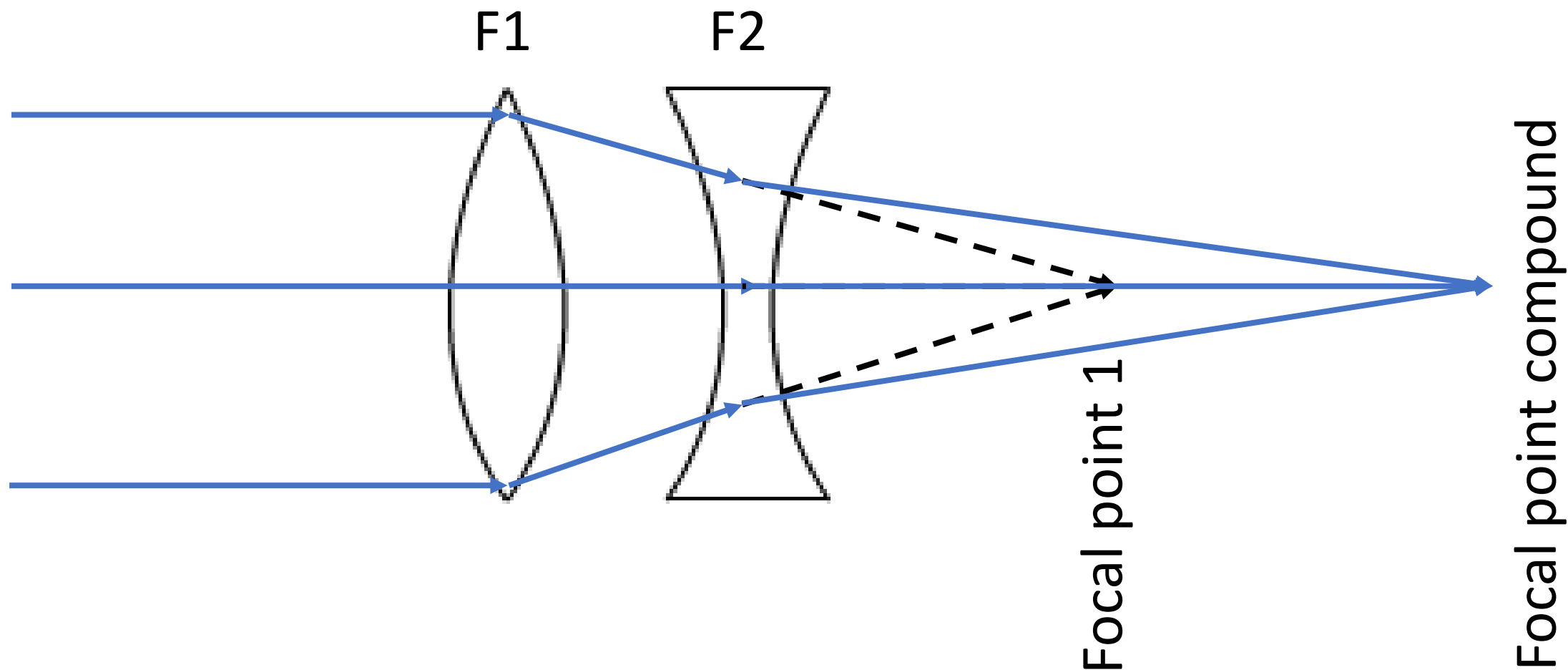


הגדלה: $M = \frac{h_2}{h_1} = \frac{S_2}{S_1}$

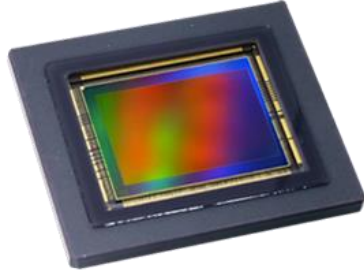
מכלול עדשה המורכב משתי עדשות מרכזות



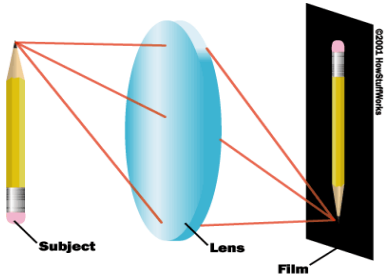
מכלול עדשה המורכב משני סוגי עדשות שונות, מרכזת ומפזרת.
(נפגוש בהמשך)



מפרט דרישות לדוגמא של מכלול עדשה



* גודל השדה – גודל הסנסור, שעליו הדמות נוצרת



* הגדלה – גודל האובייקט שיוצר בדמות ביחס לגודל העצם המקורי

* ספקטרום – אילו אורכי גל רלוונטים ליצירת הדמות (למשל: תאורת שמש לבנה? תאורת לדים בצבע אחד? או שלושה? תאורת לייזר מונוכרומטית?)



* נפח – מגבלות מכניות מסויימות?

מפרט דרישות של מכלול עדשה

חדות/רזולוציה – מושפע מגודל הפיקסל של החיישן,

מהם הפרטים הקטנים ביותר בהם נדרש להבחין?

מהו גודל הטשטוש המותר?



• דרישות נוספות מיוחדות – לפי השימוש המסויים המתוכנן בעדשה

סוגים של גורמי טישטוש והדרך להתגבר עליהם.

© Ed O'Keeffe



- עוותים גאומטריים

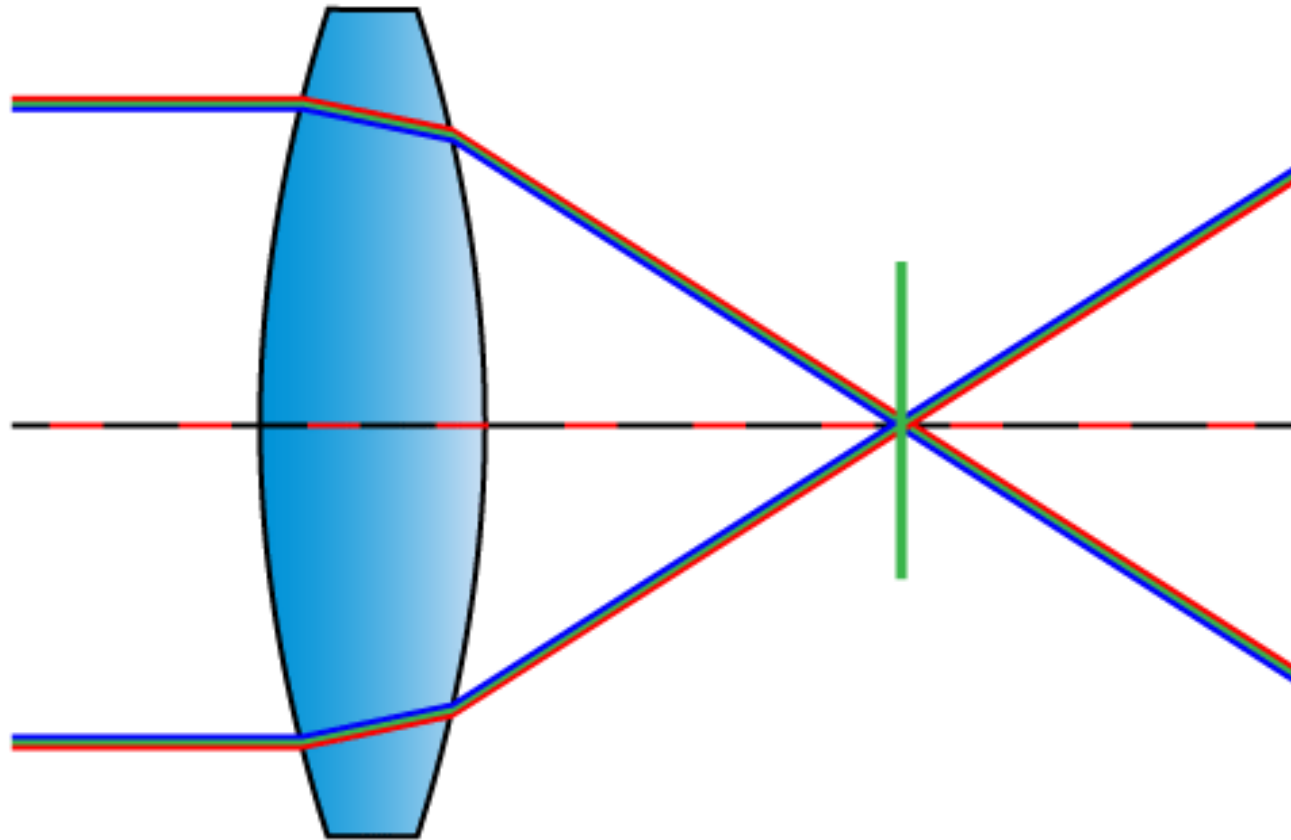
- טולרנסי יצור

- דיפרקציה

עוות כרומטי

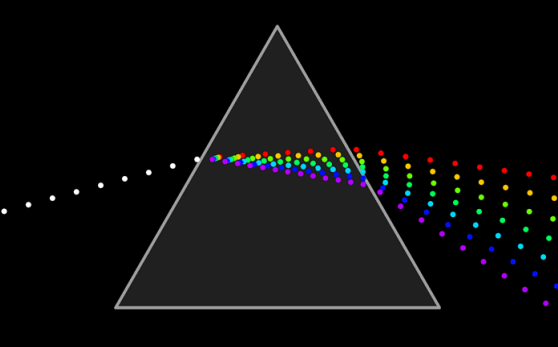


עדשה אידאלית

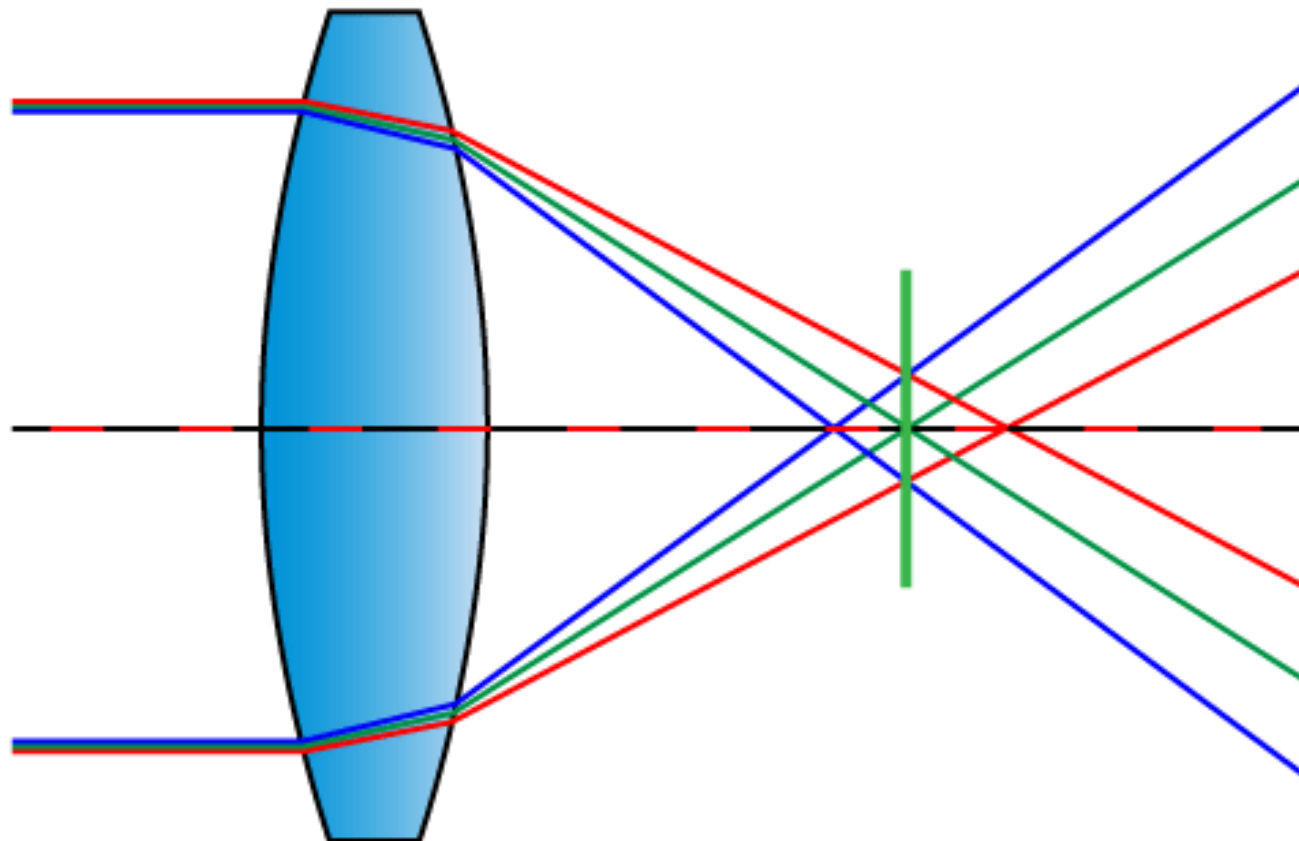


Legend

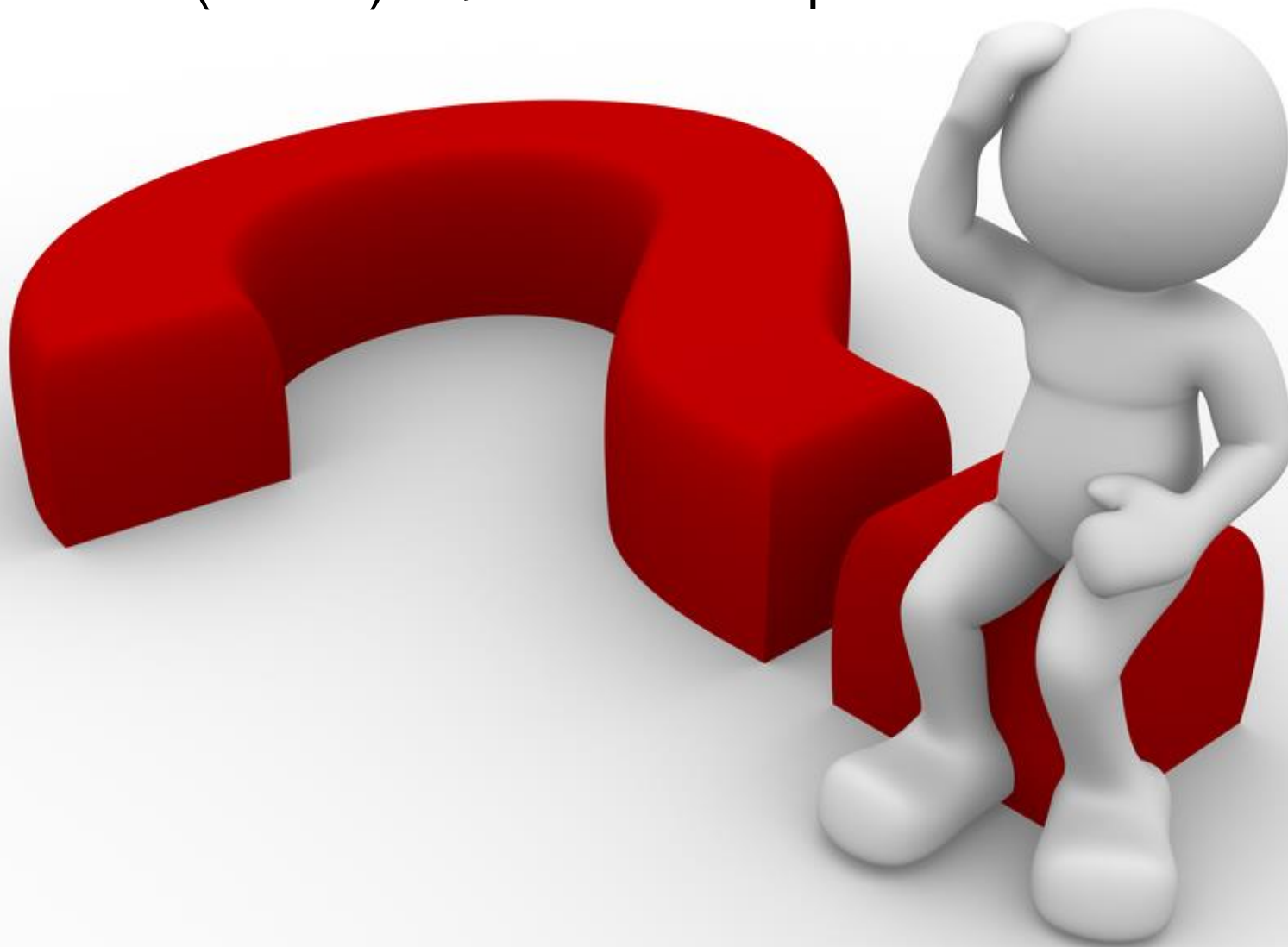
-  Light Rays
-  Optical Axis
-  Best Focus Point

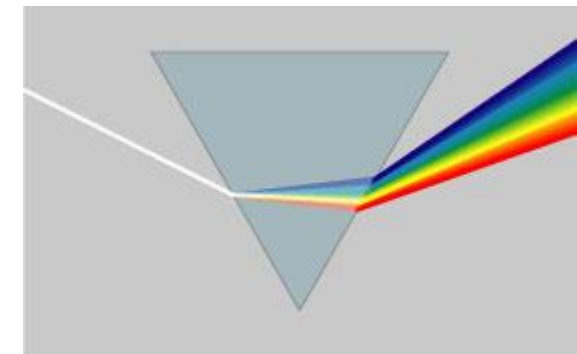
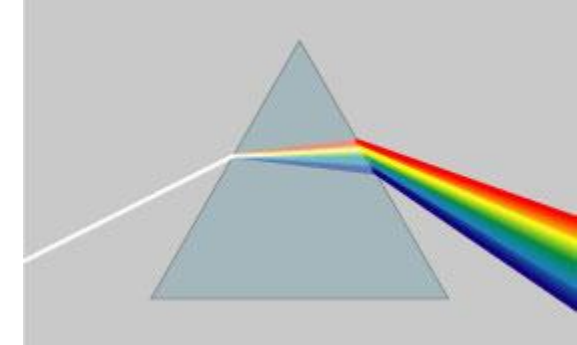
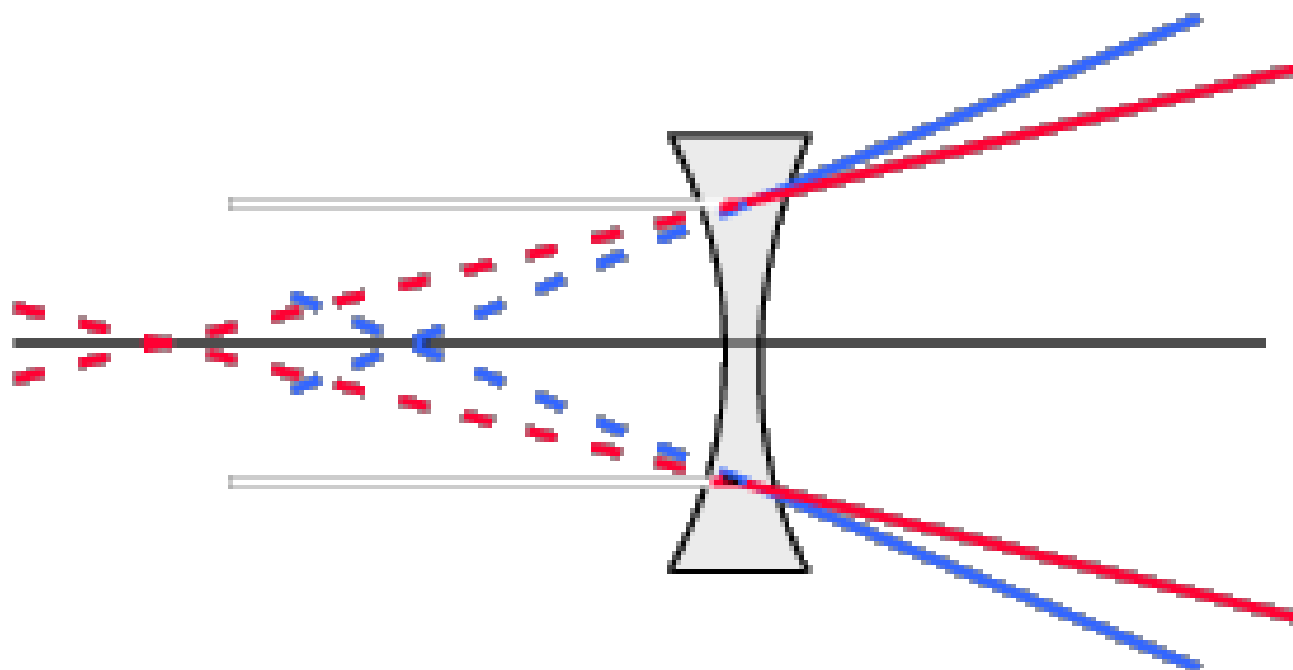
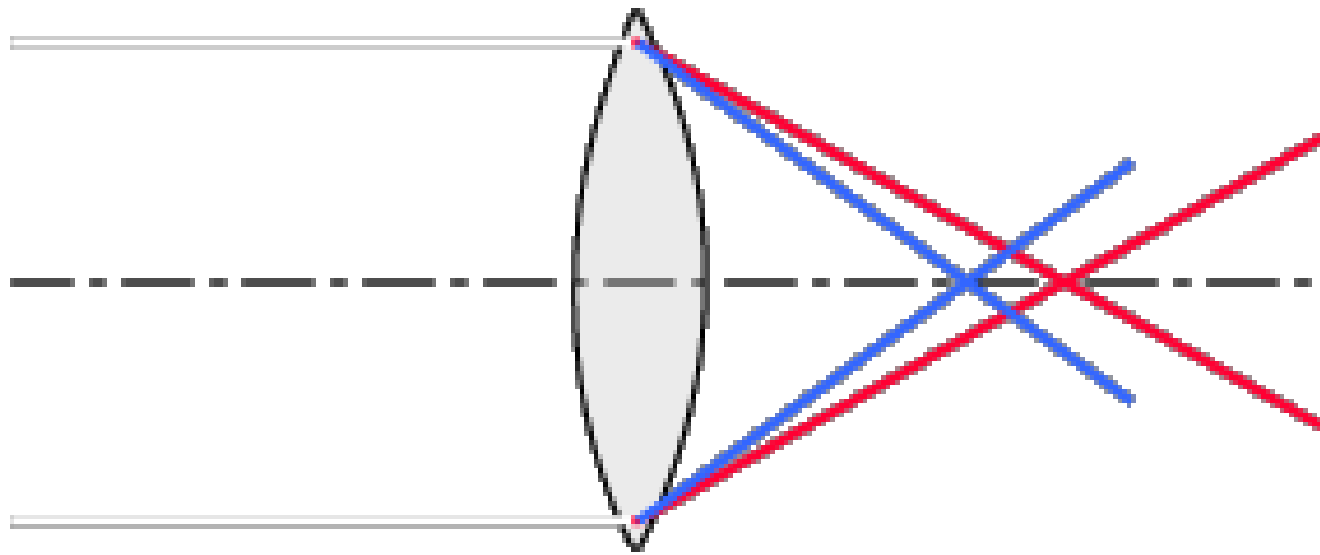


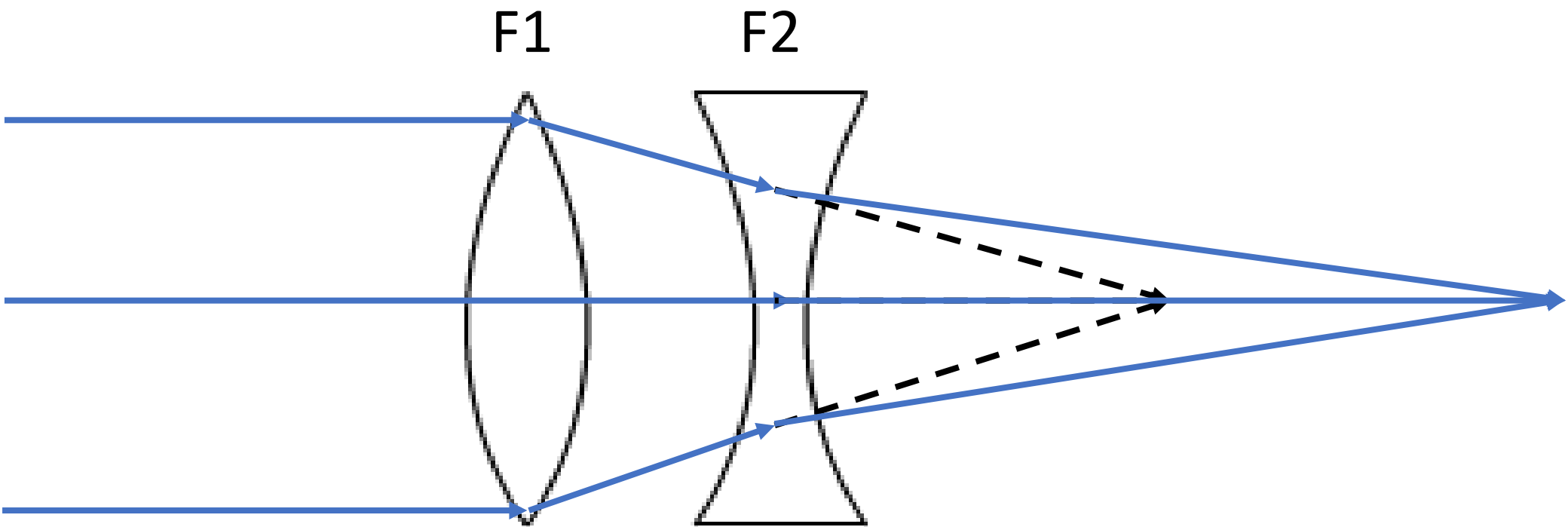
עדשה עם עוות כרומטי (צבעי)



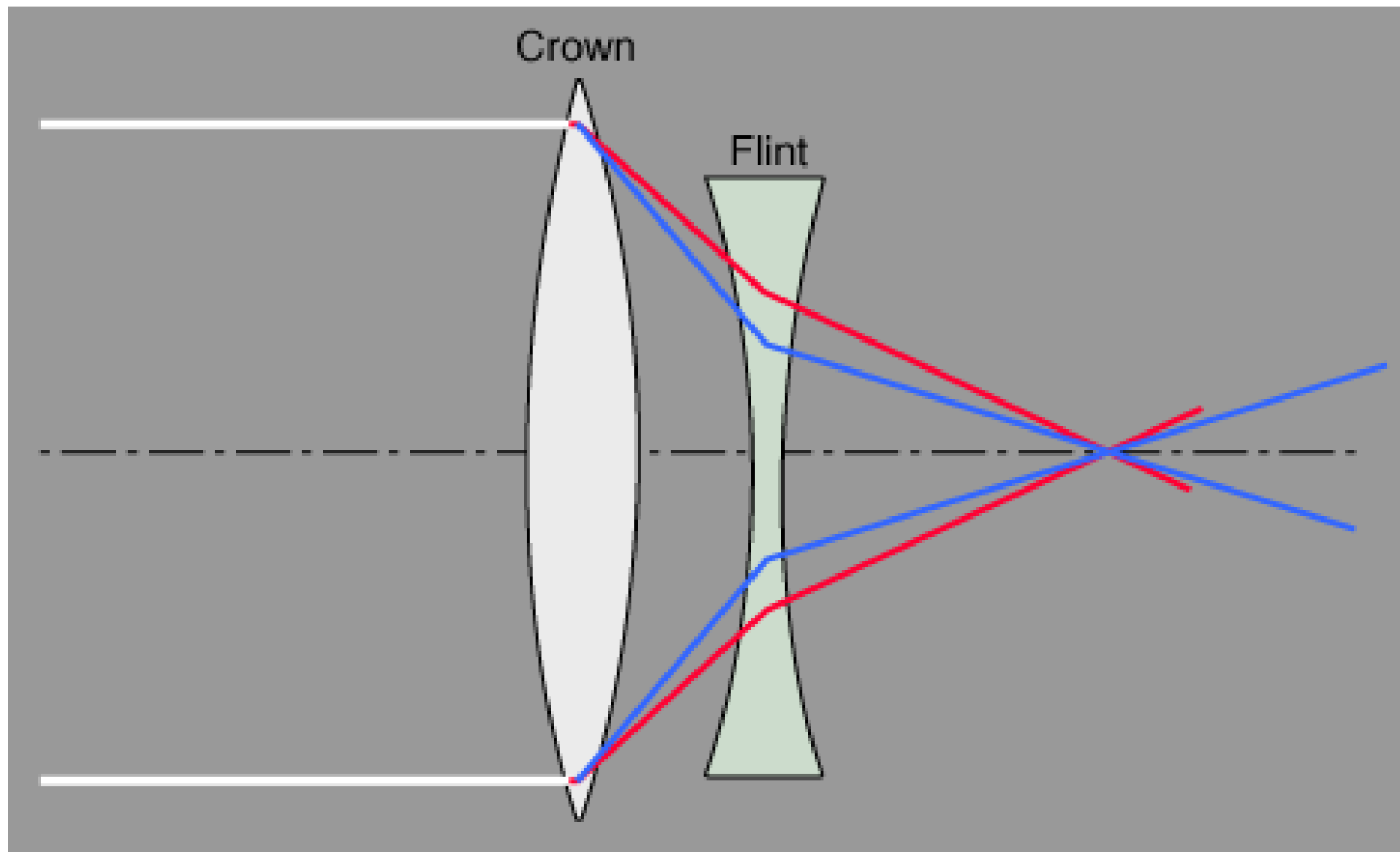
איך פותרים את העוות (טשטוש) הכרומטי?



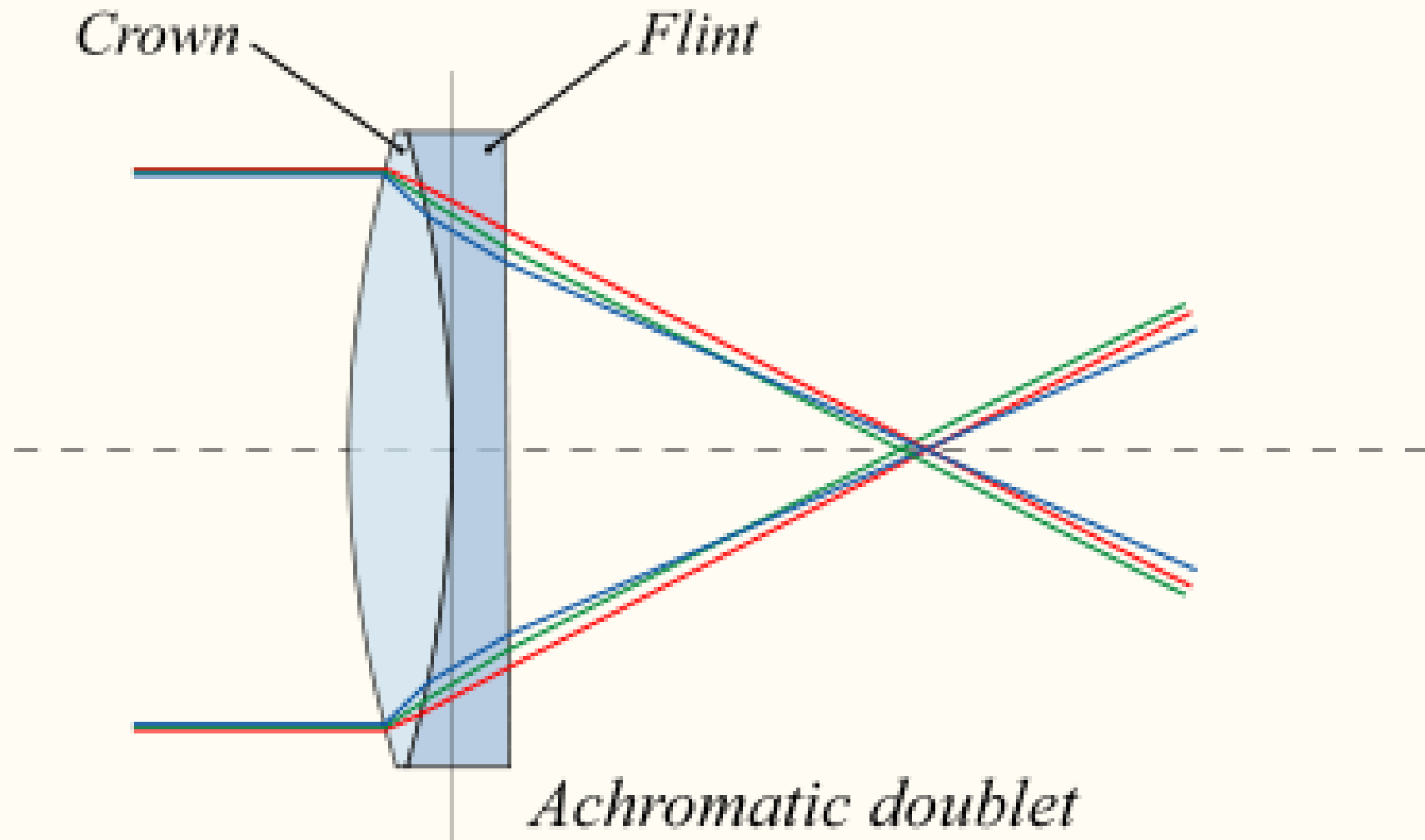


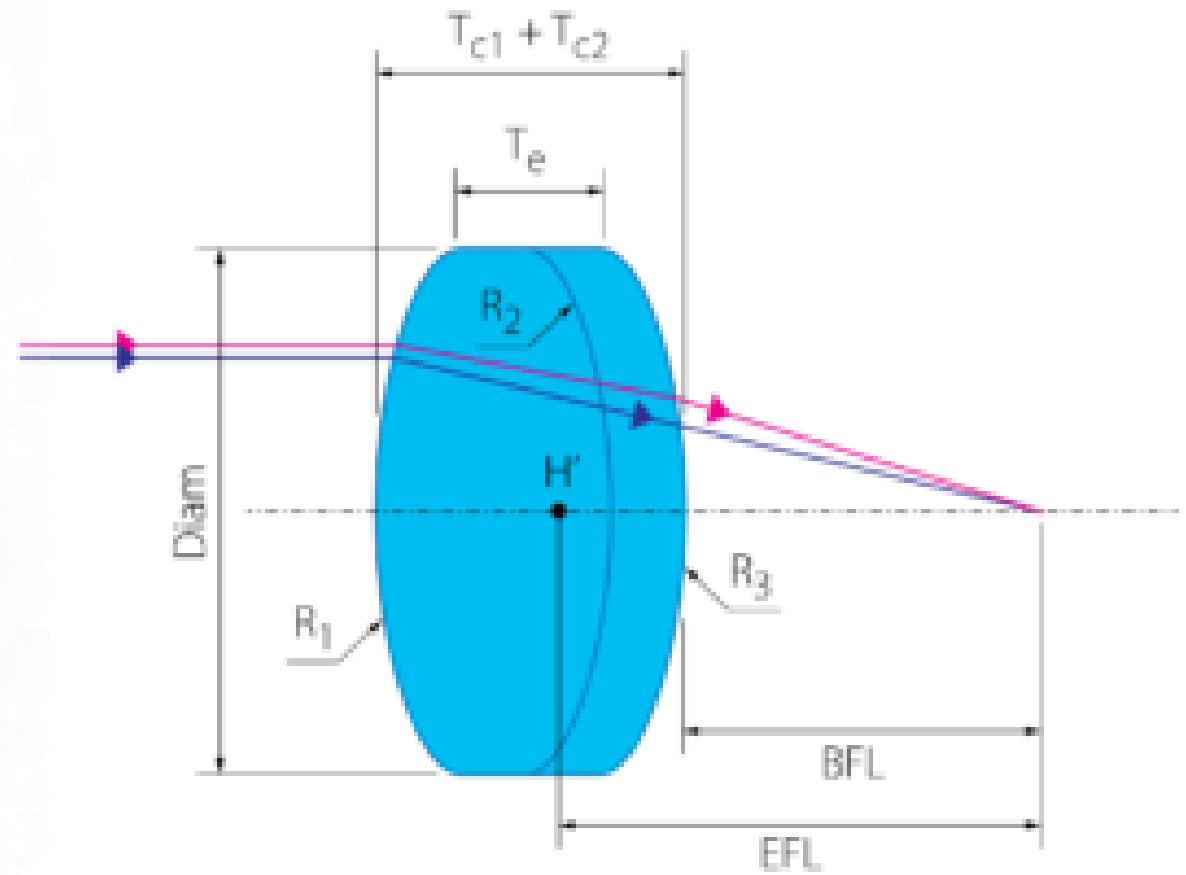


תקון עוות כרומטי ע"י דובלט

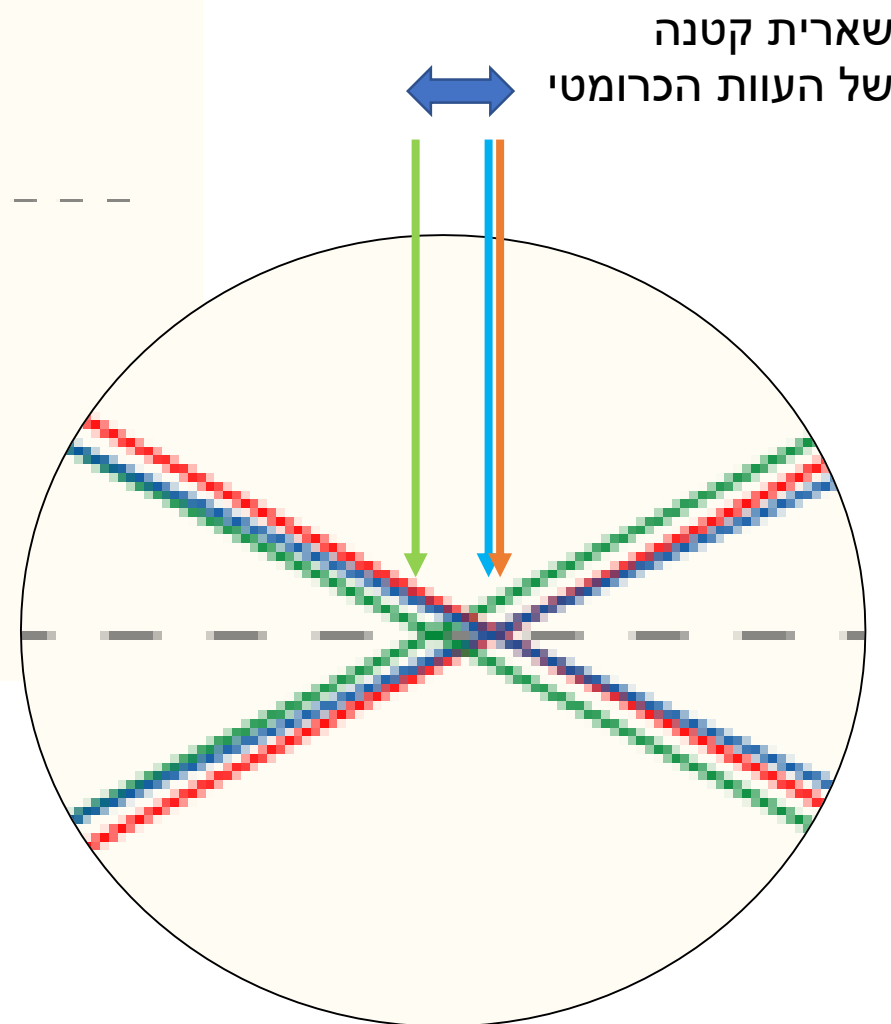
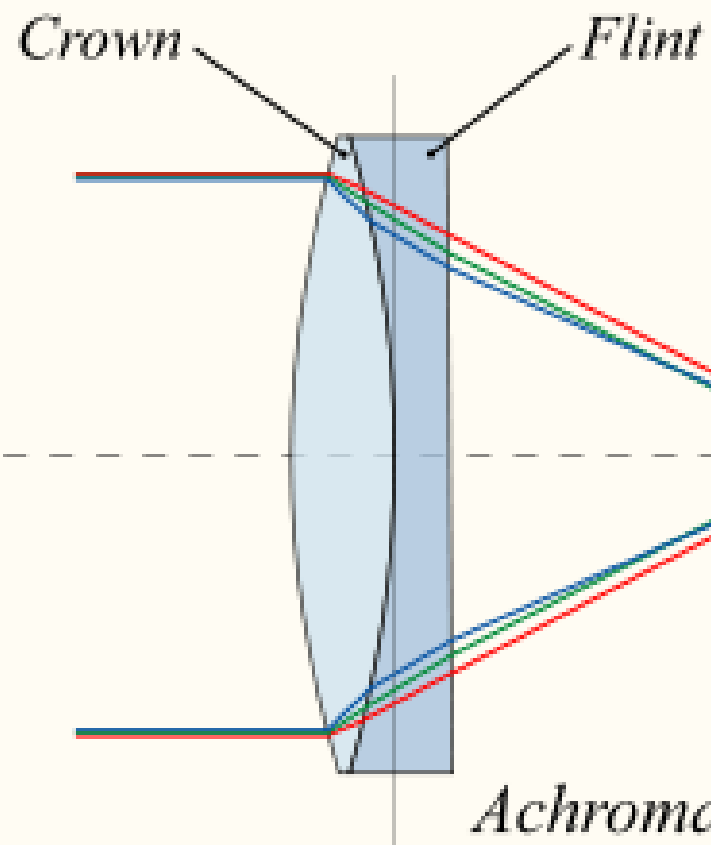


Cemented doublet

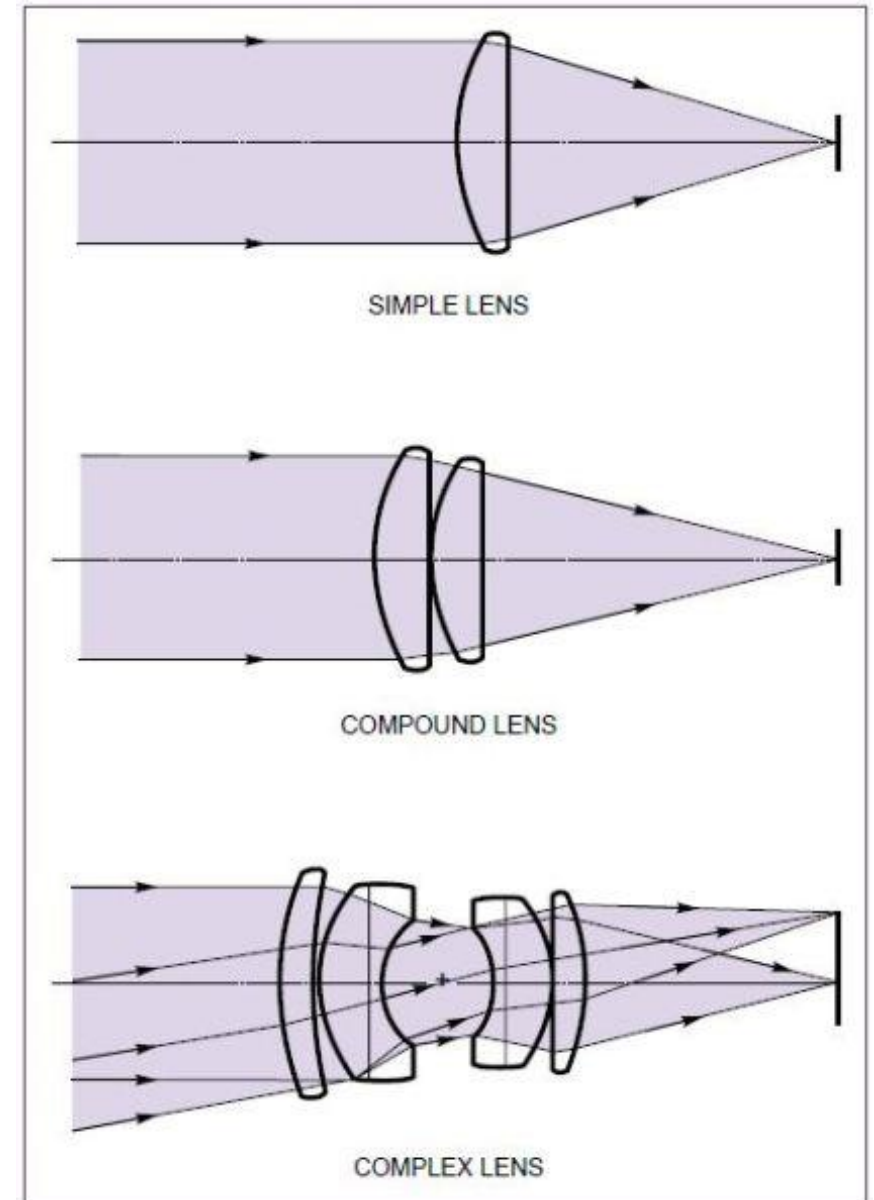
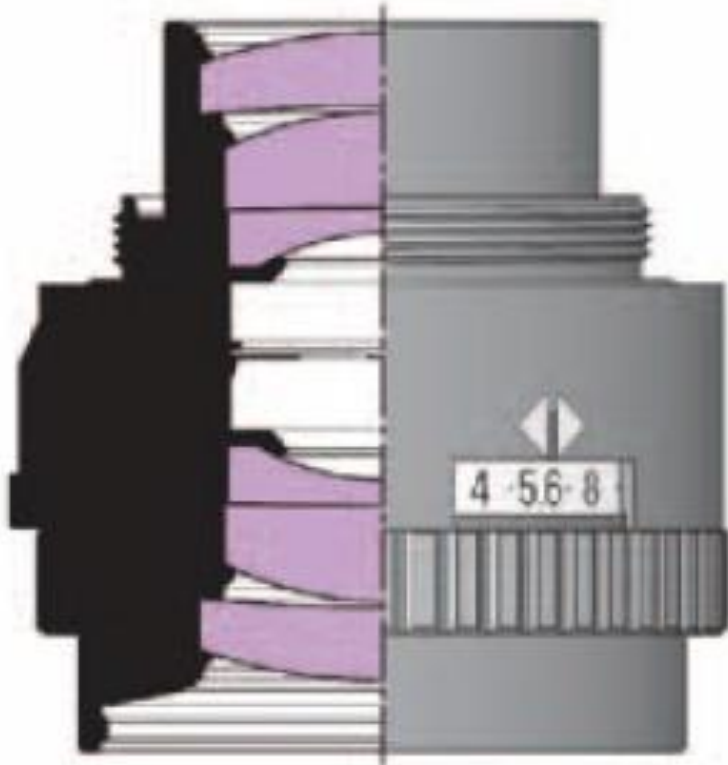


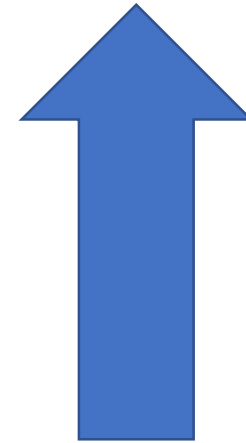


<https://www.altechna.com/products/achromatic-lenses/>



עדשה מרובת אלמנטים





Geometrical aberrations

- Chromatic aberration



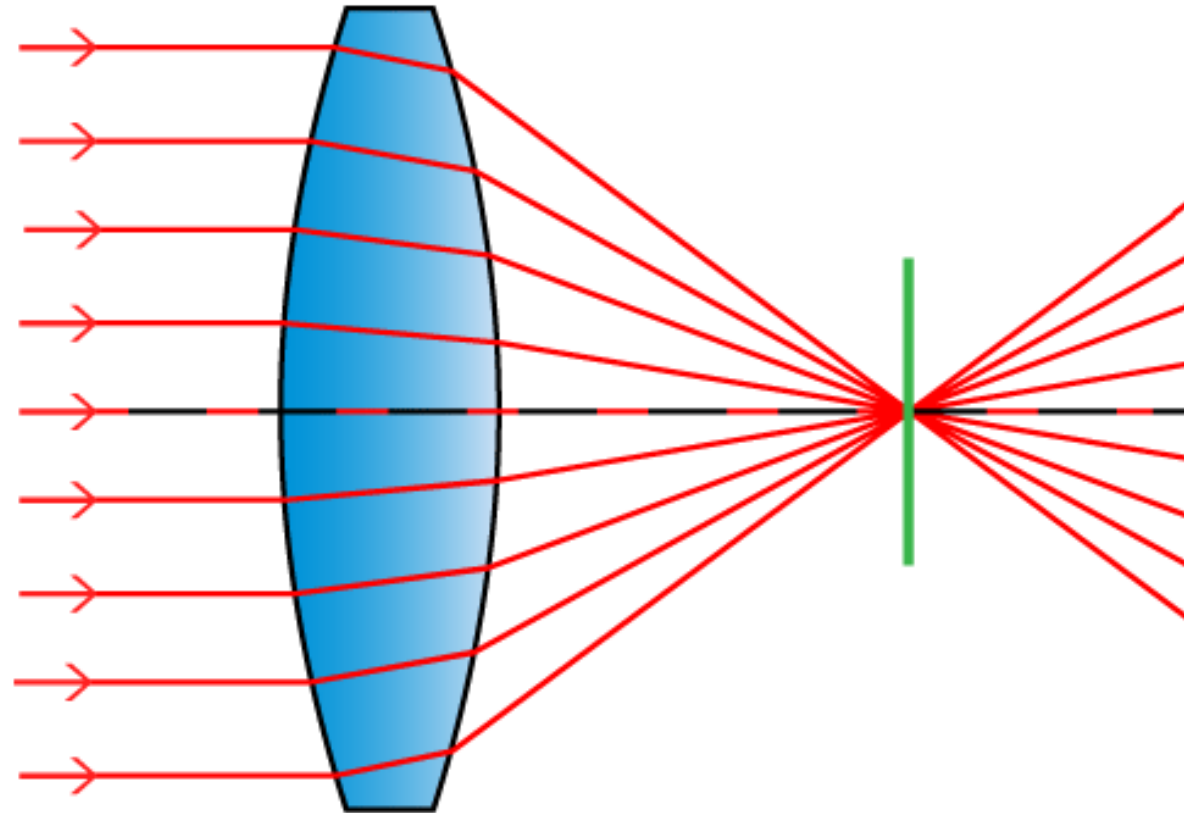
Geometrical aberrations

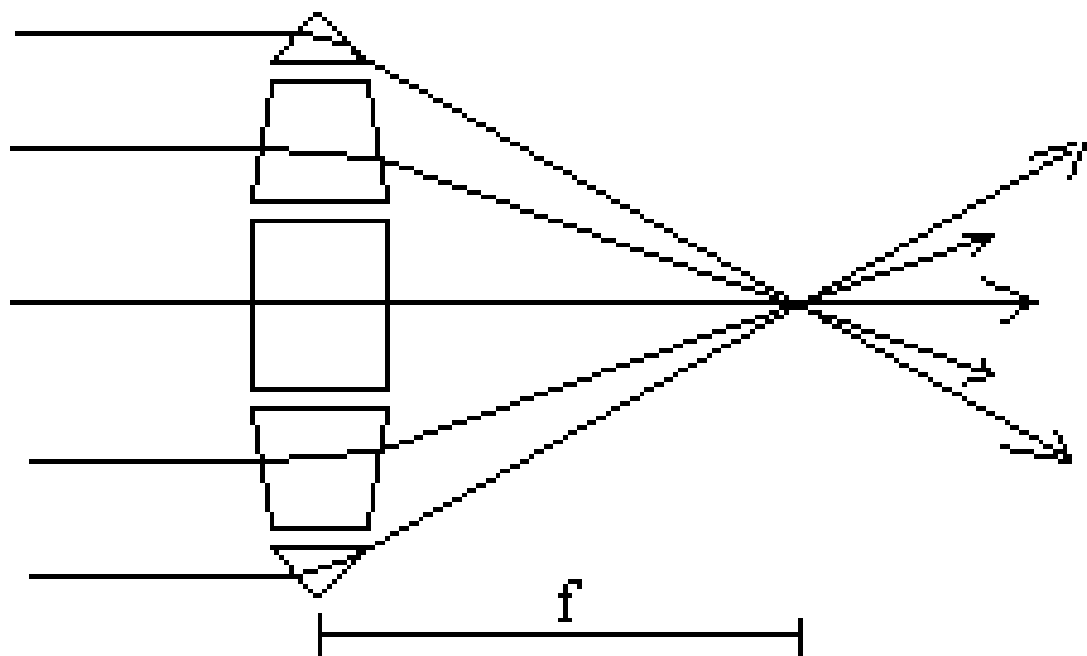
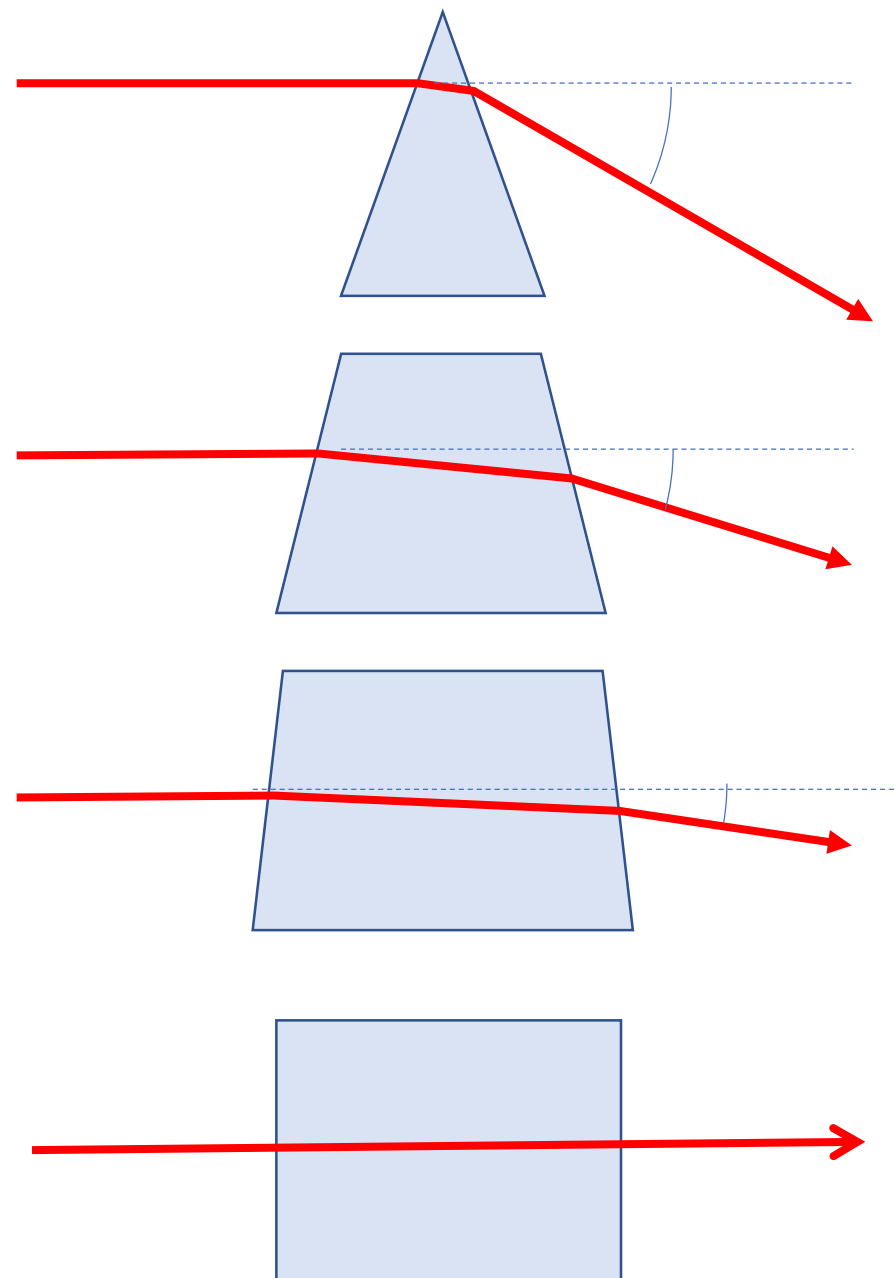
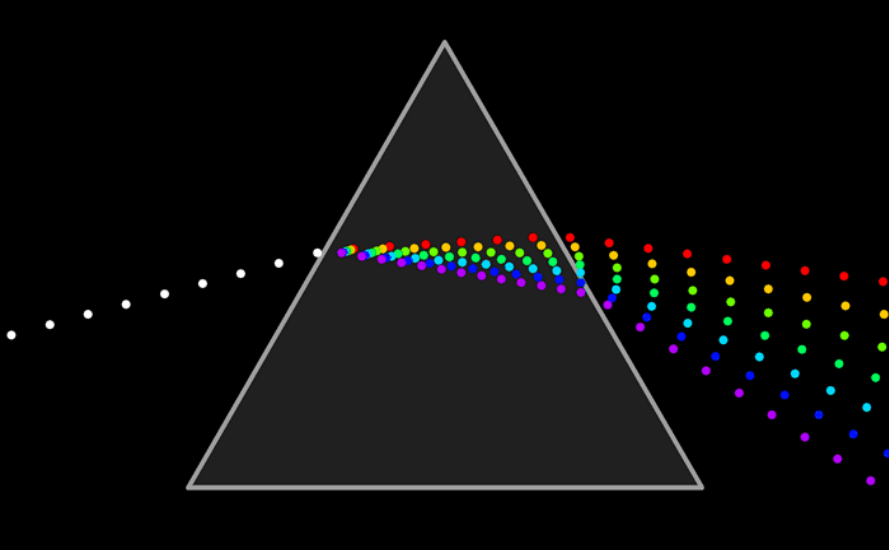
- Chromatic aberration
- Spherical aberration



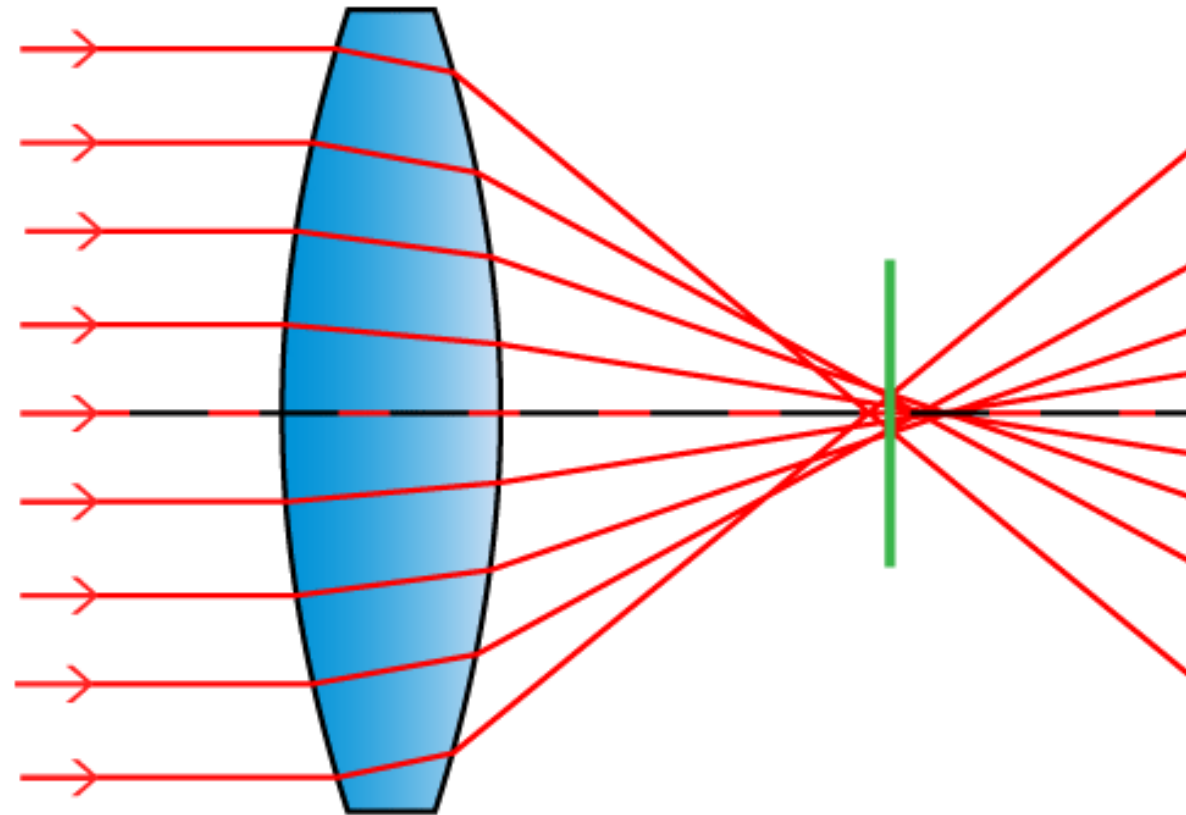
Perfect lens performance

עוות ספרי





lens with **Spherical Aberration**

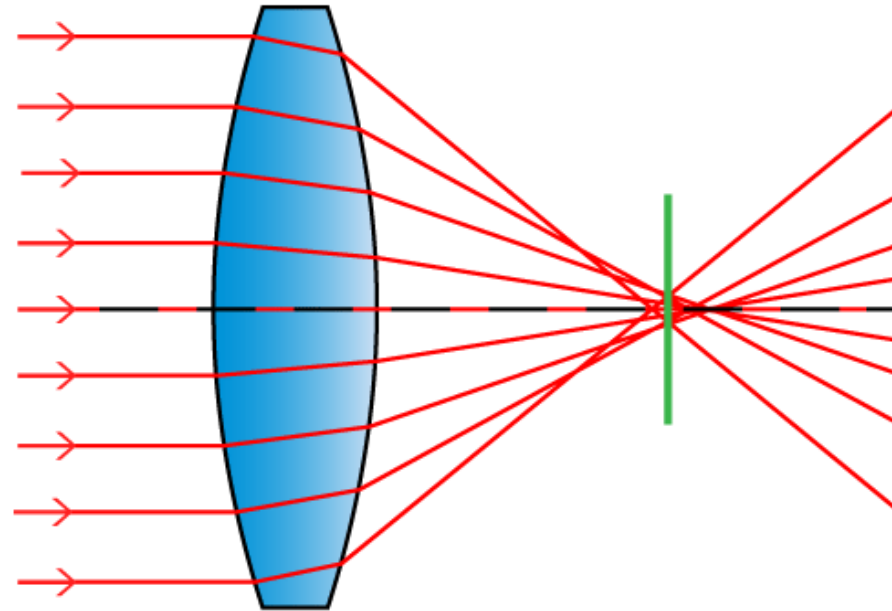


Lens Optical Performance

Geometrical aberration



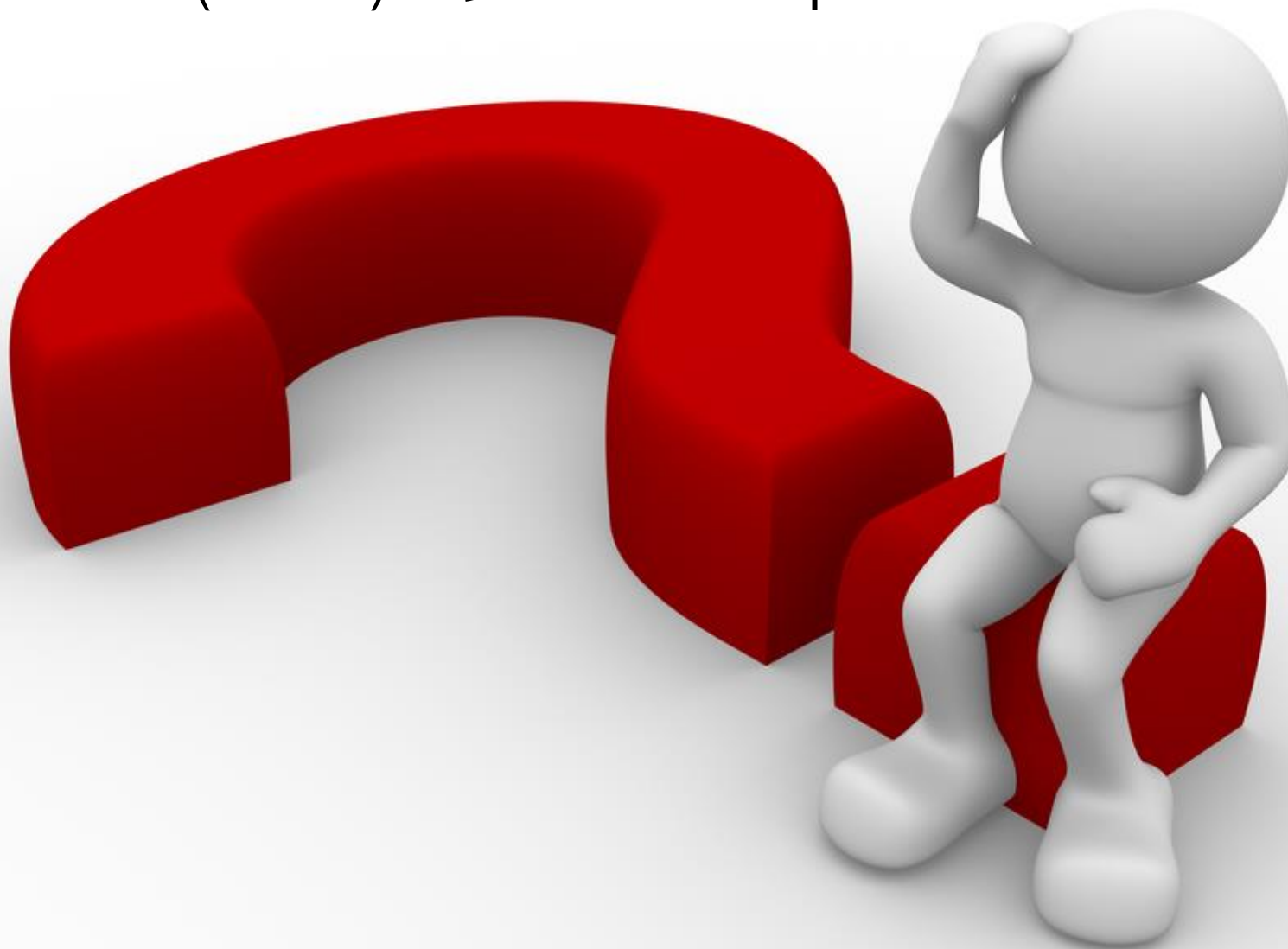
Lens with
Spherical Aberration



Legend

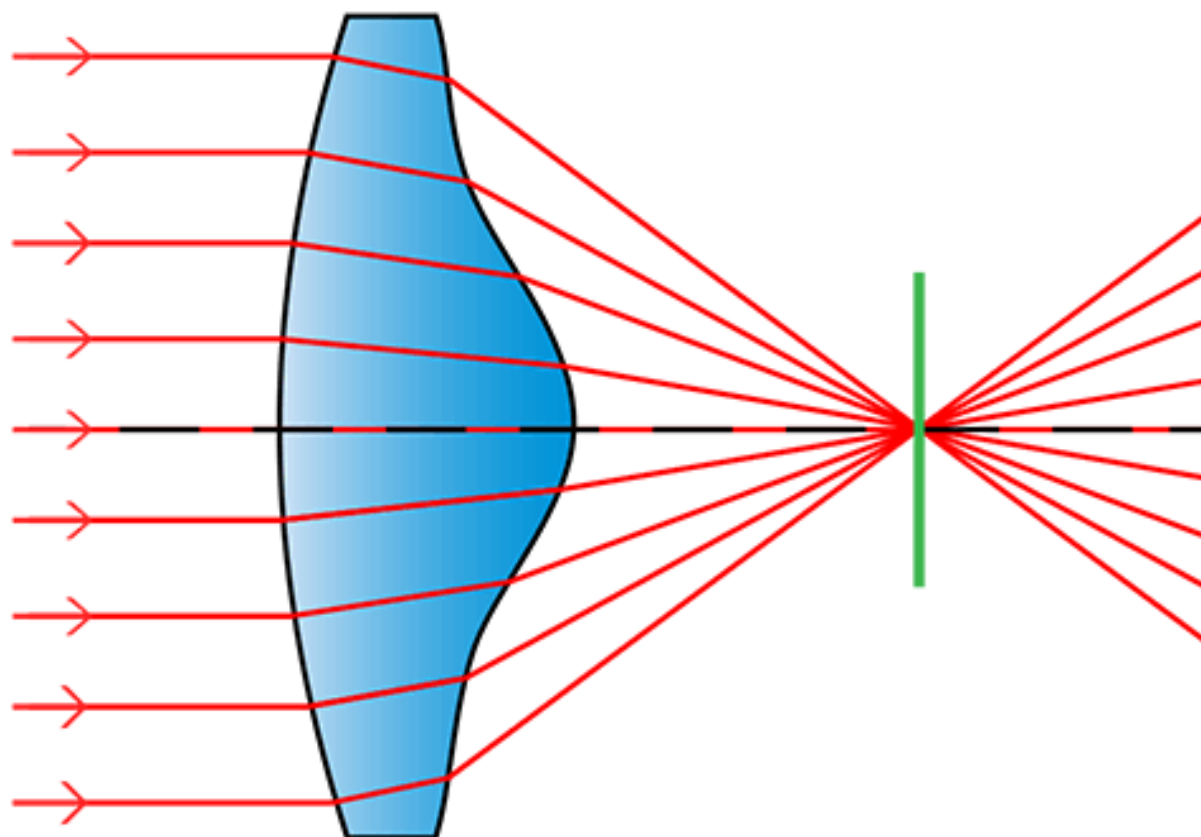
- Light Rays
- Optical Axis
- Best Focus Point

איך פותרים את העוות (טשטוש) הספרי?

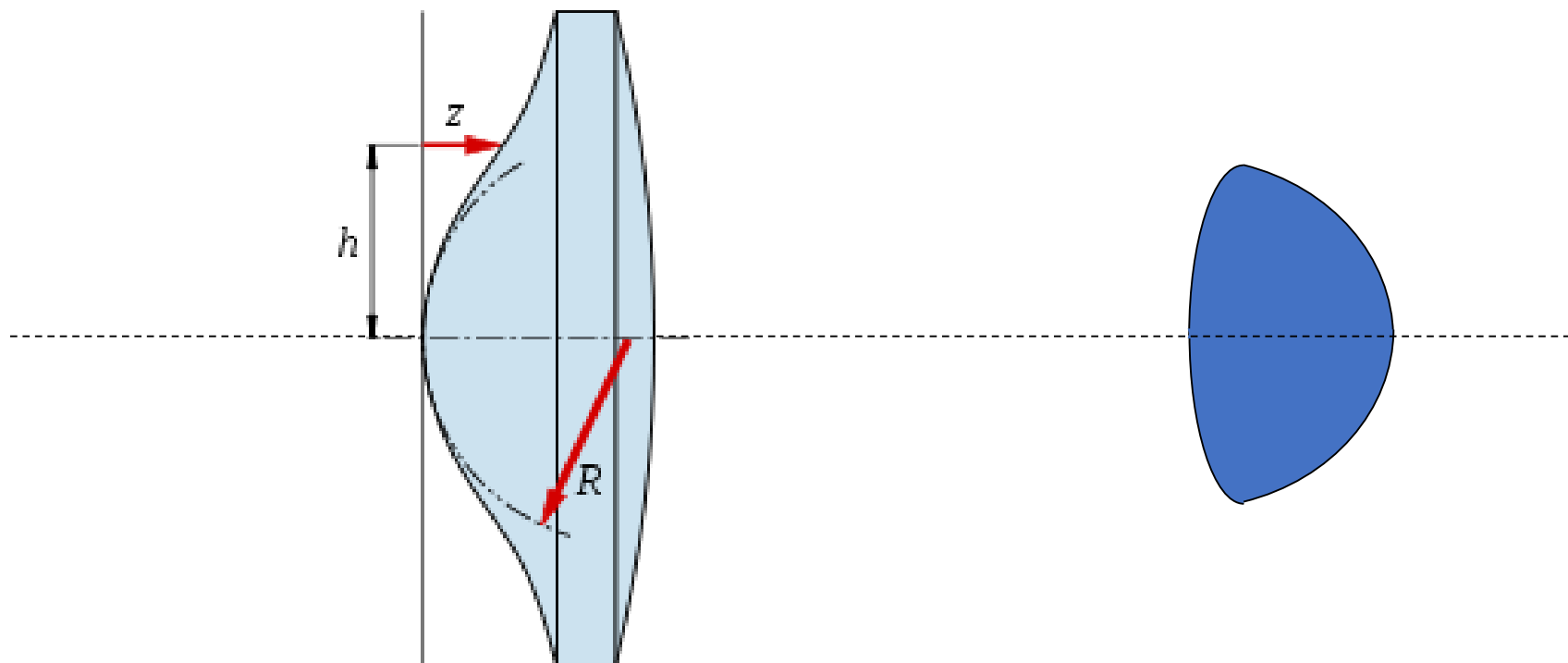


Aspherical Lens

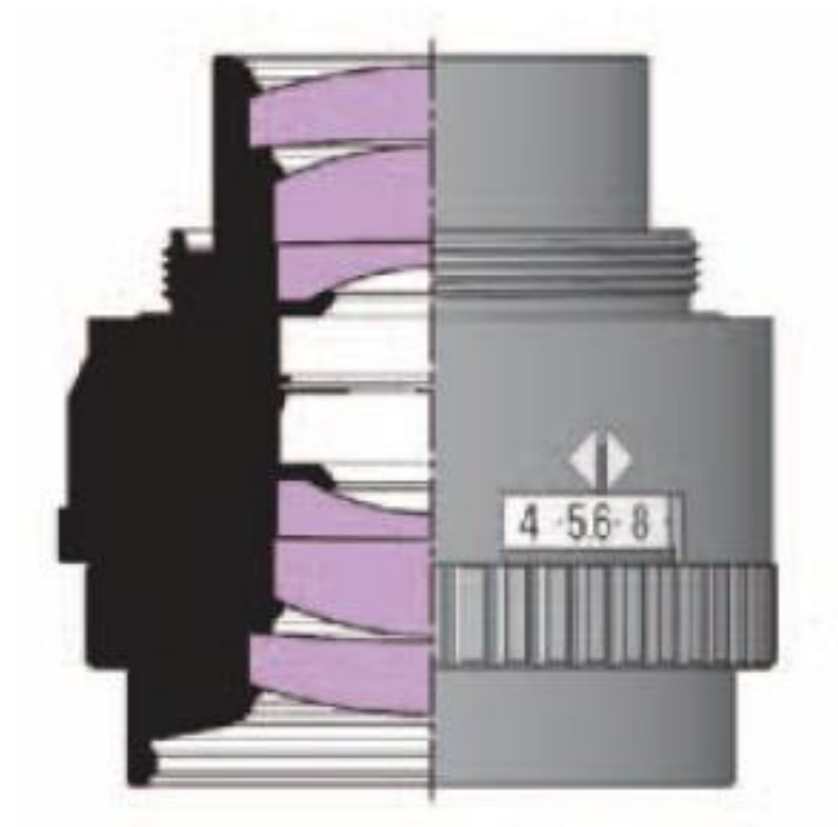
תיקון:



עדשה א-ספרית



עדשה מרובת אלמנטים



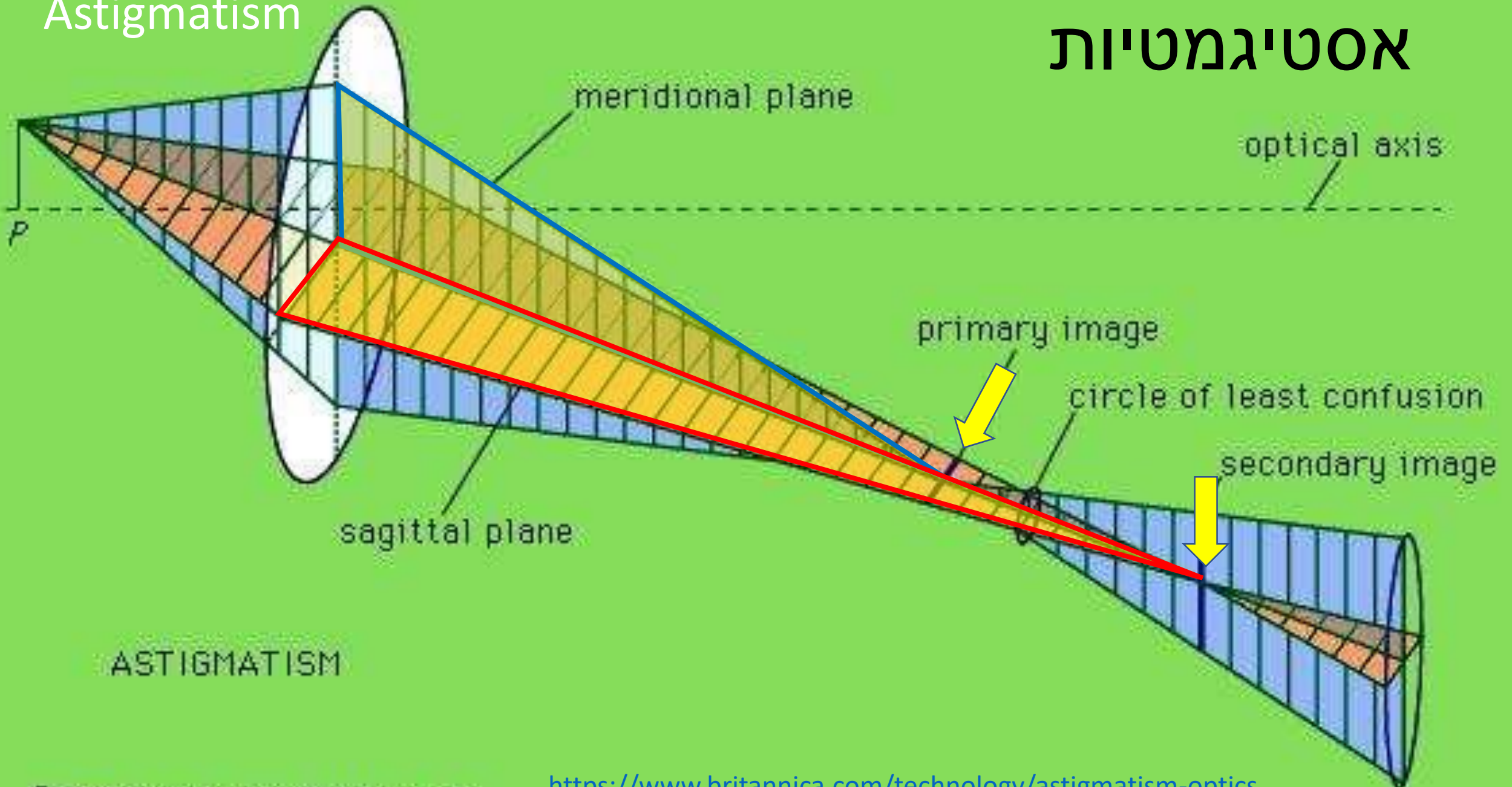
Geometrical aberrations

- Spherical aberration
- Chromatic aberration
- Astigmatism



Astigmatism

אסטיגמטיות



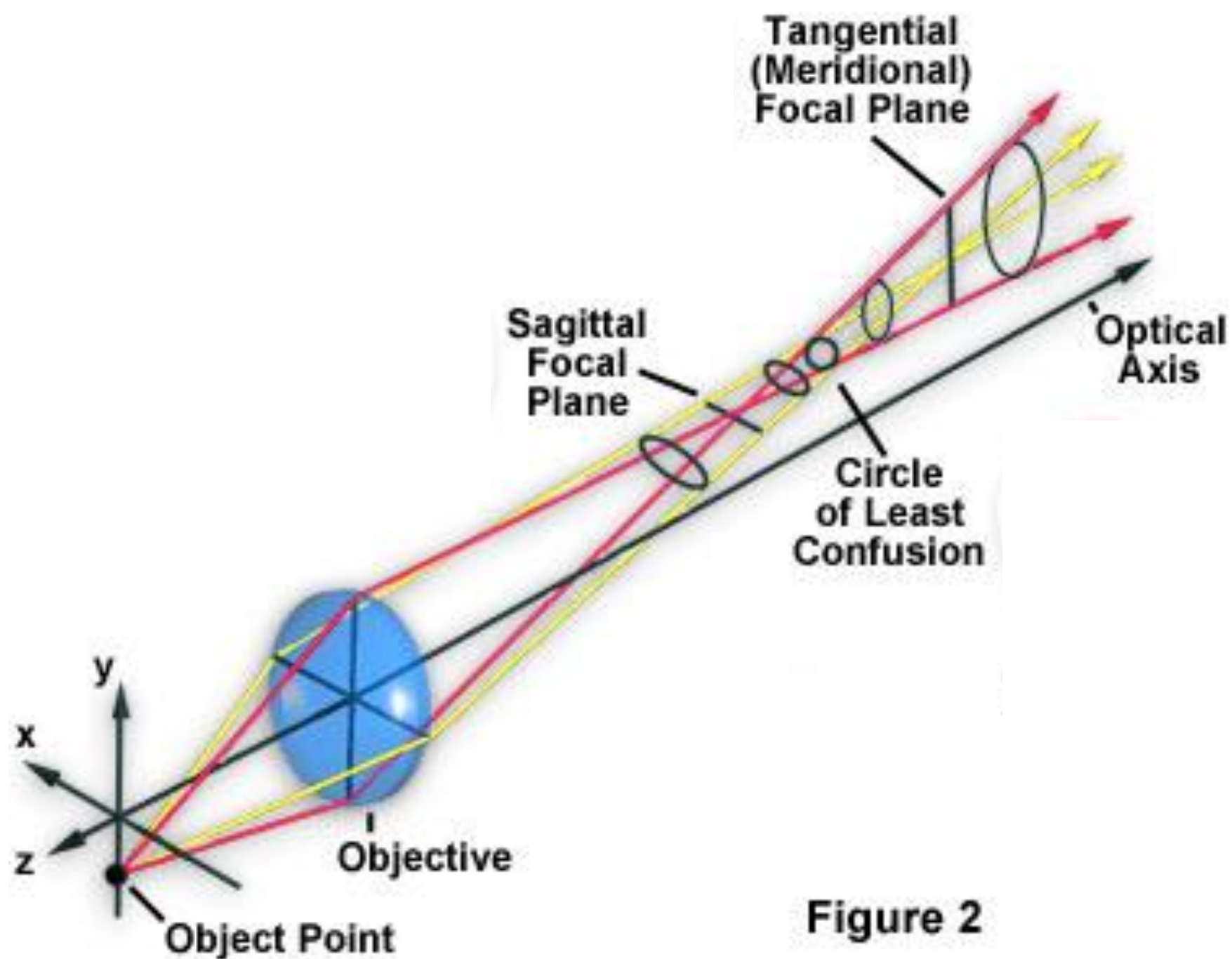
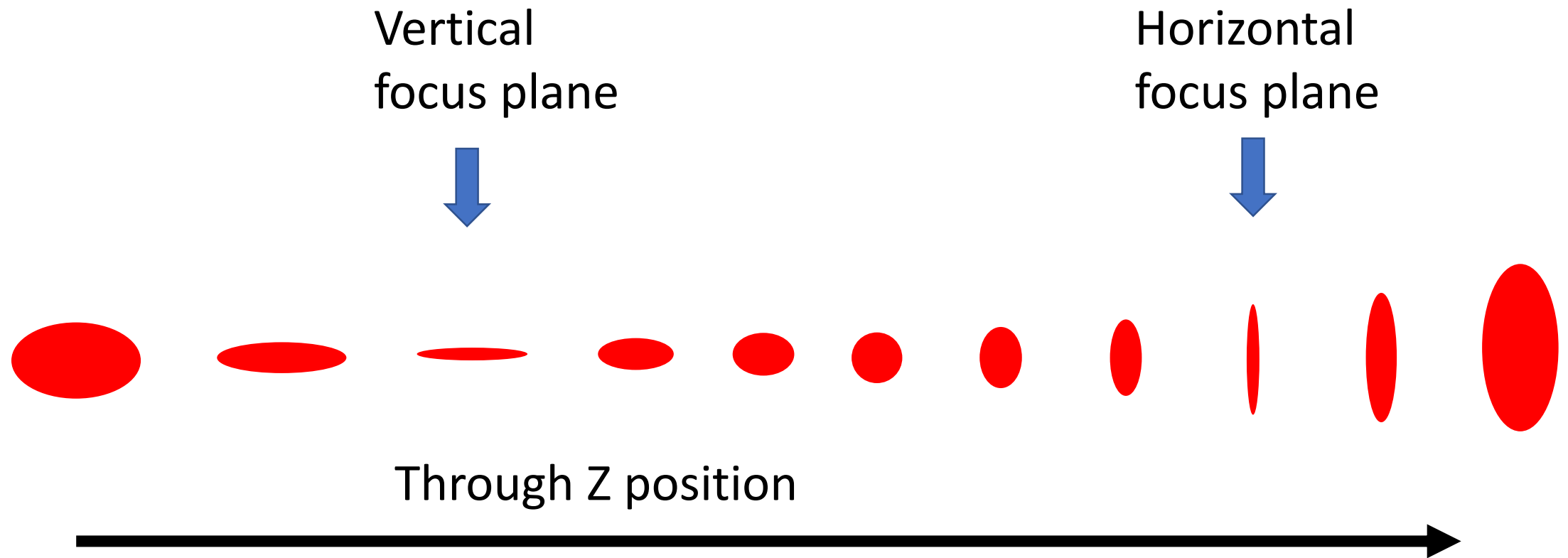
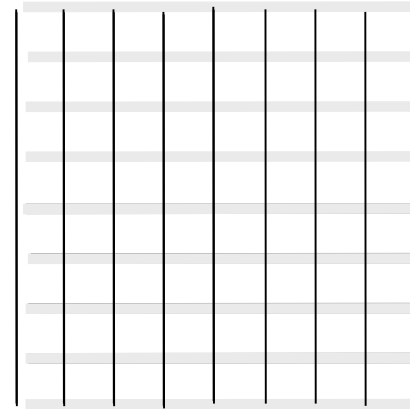
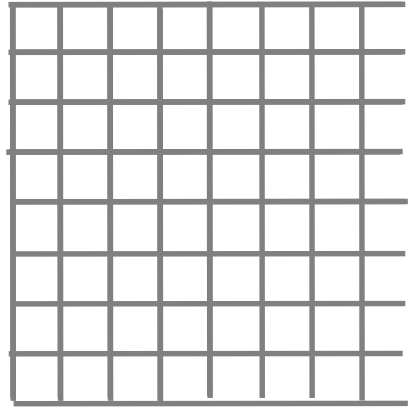
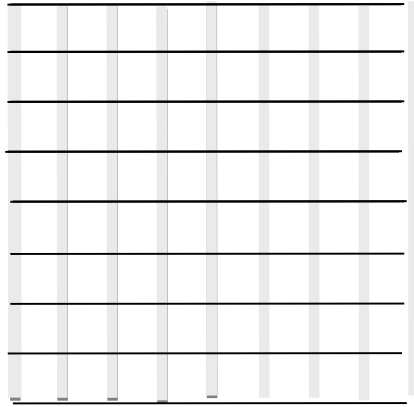


Figure 2

Spot shape through focus at astigmatic system.



Astigmatic system
Through Z position



Original

aio

Compromise

aio

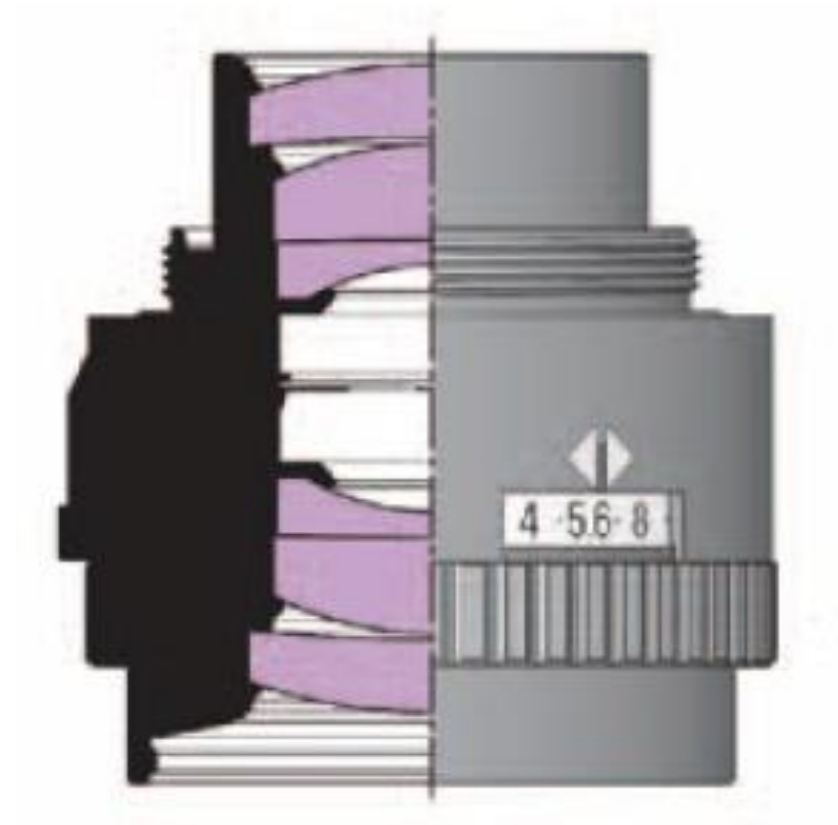
Horizontal Focus

aio

Vertical Focus

aio

ריבוי אלמנטים בעדשה מאפשר תיקון עוותים רבים



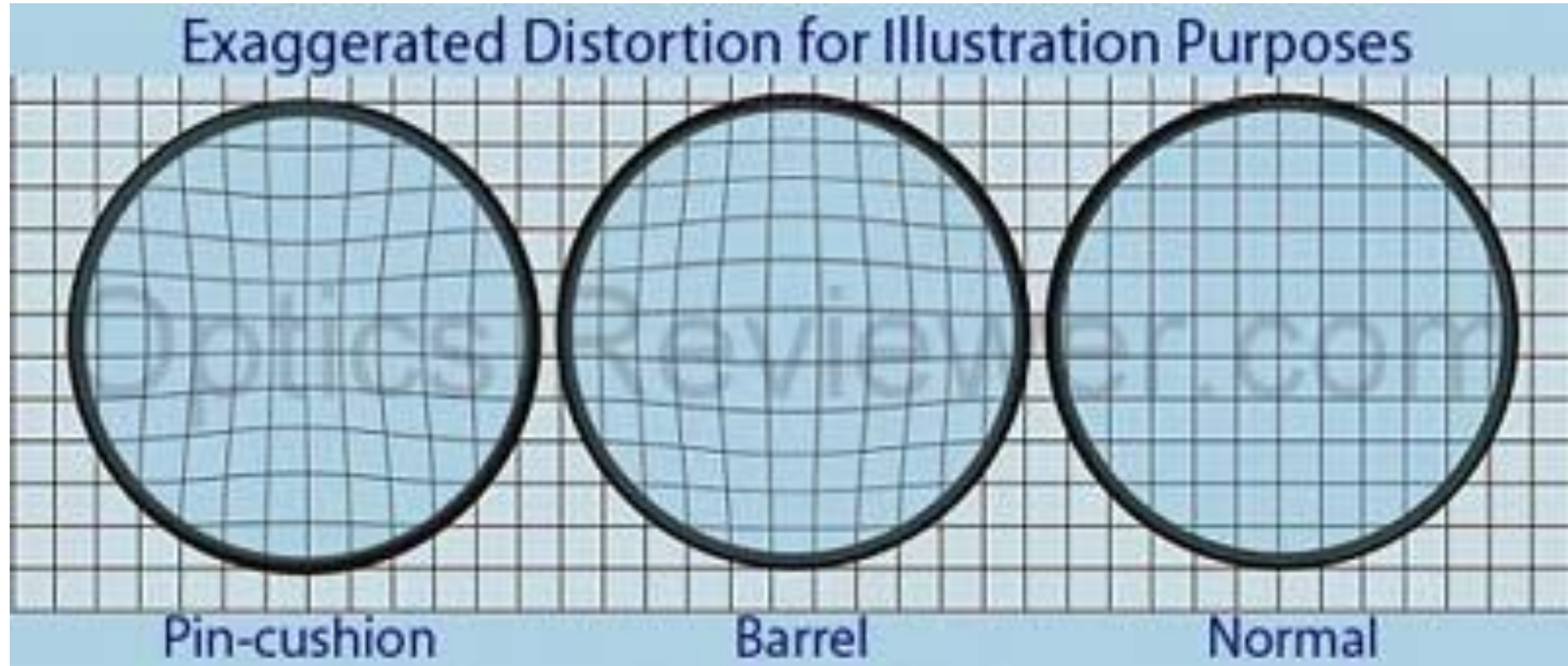
Geometrical aberrations

- Spherical aberration
- Chromatic aberration
- Astigmatism
- Distortion

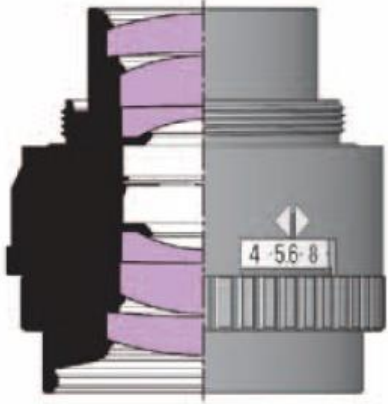




Distortion



איך פותרים את ה Distortion ?



Correction action:

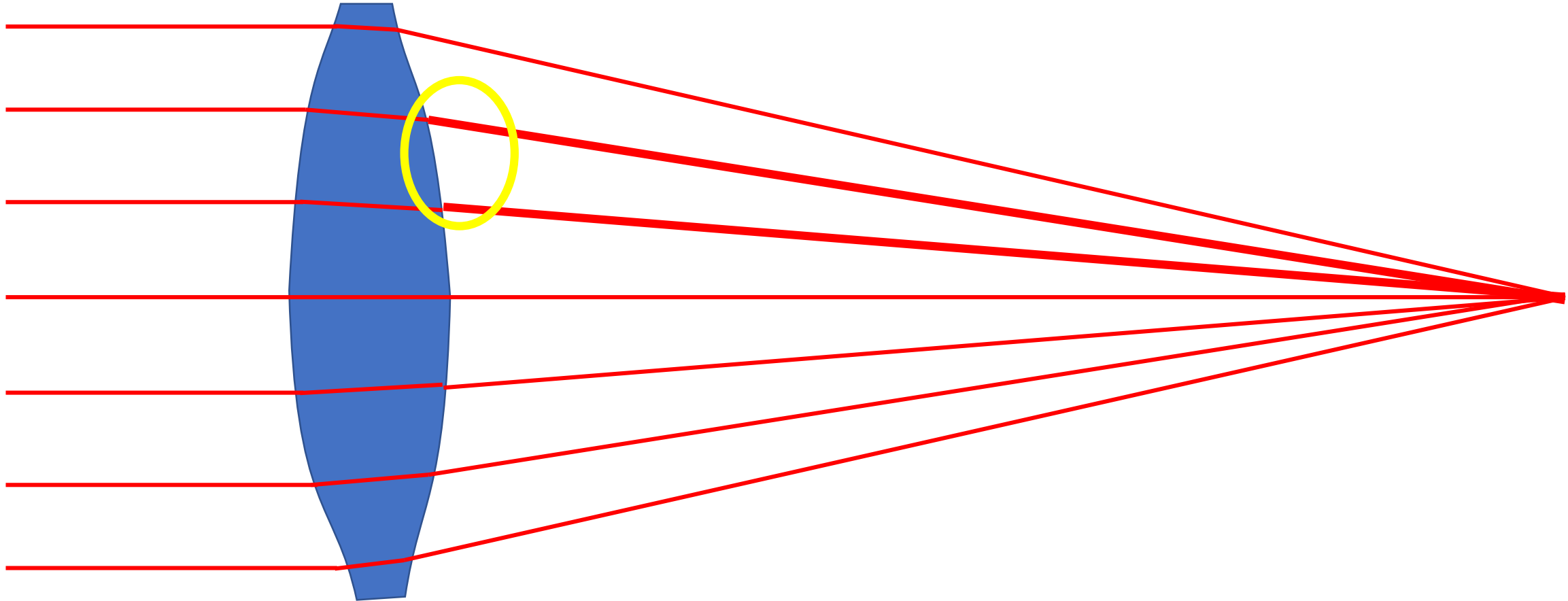
- Multi element lens to reduce distortion
- Image processing correction



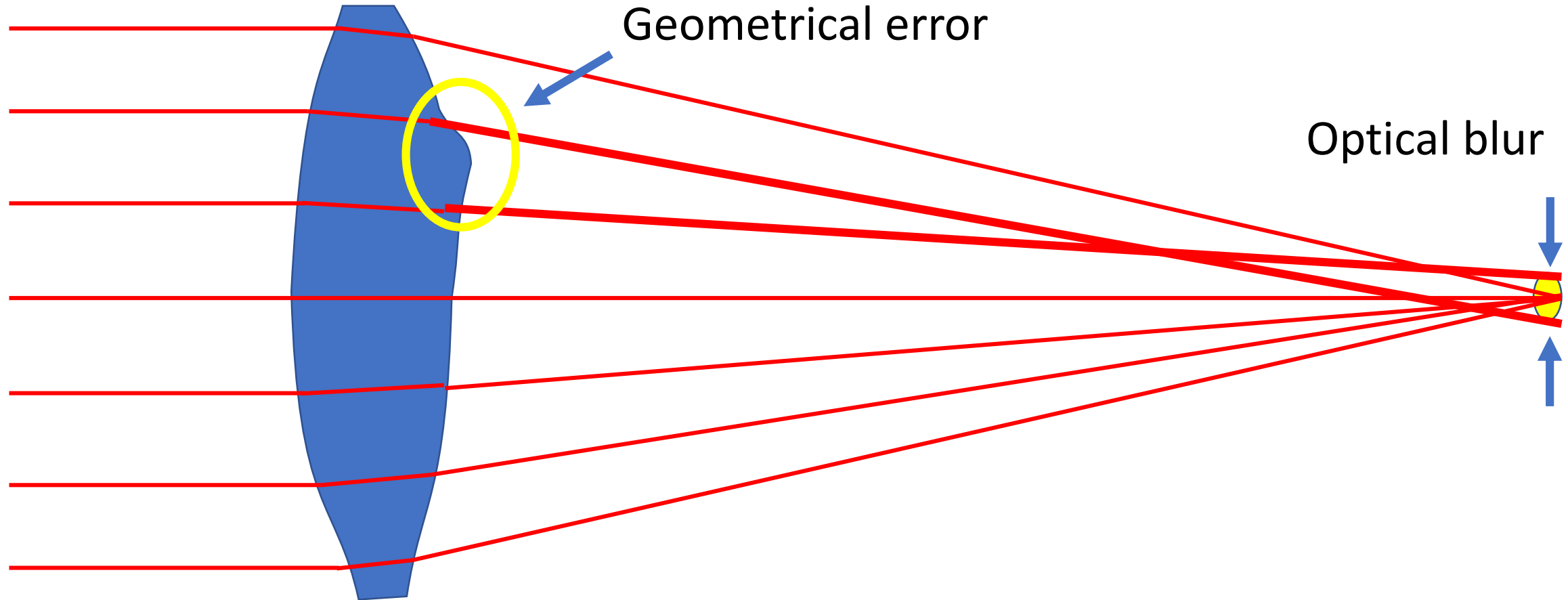
גורמים נוספים לטשטוש:

טולרנסי ייצור עדשה

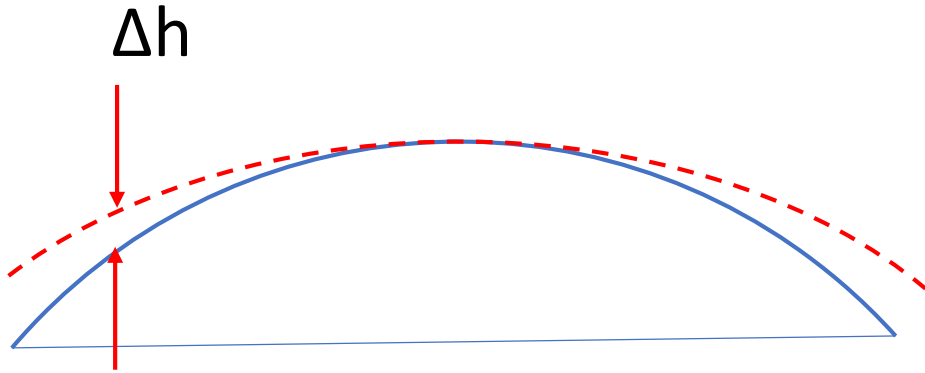
שגיאות יצור של אלמנט בודד



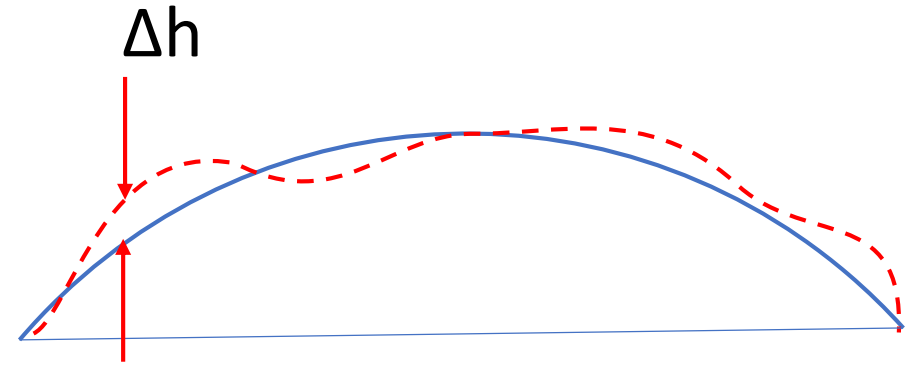
שגיאות יצור של אלמנט בודד



שגיאות יצור של אלמנט בודד



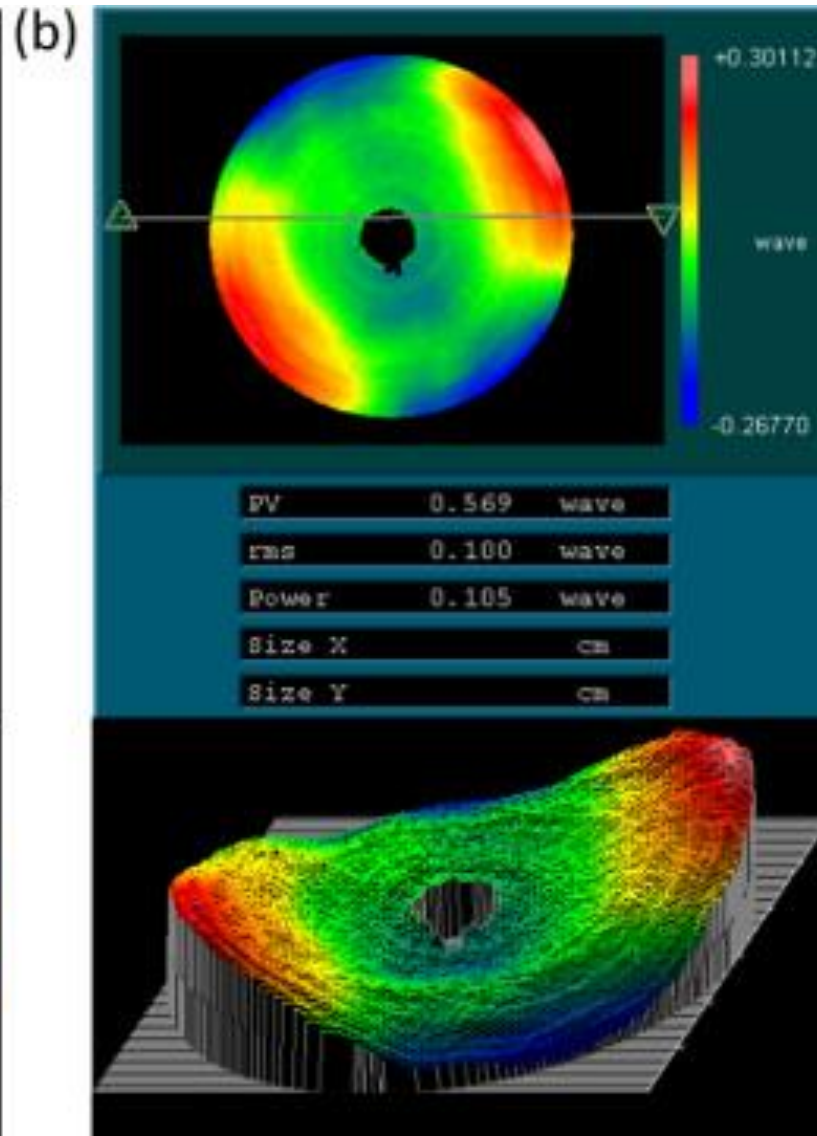
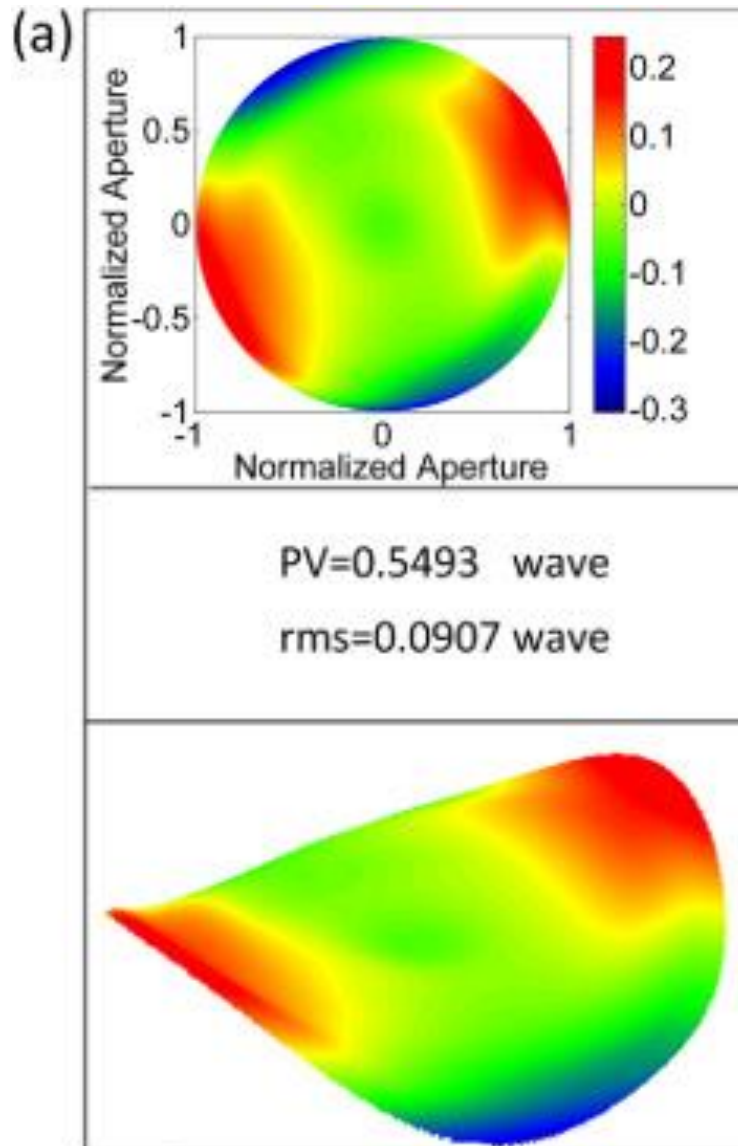
“Power” error



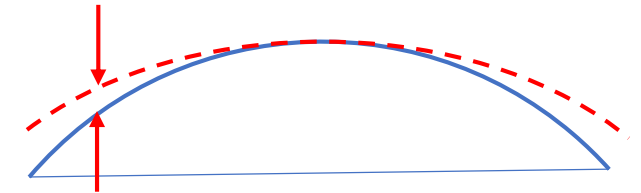
Irregularity

$$\Delta h \sim < 0.1 \mu\text{m}$$
$$(\sim 1/5 \lambda)$$

Topographic error map



שגיאות יצור
של אלמנט בודד



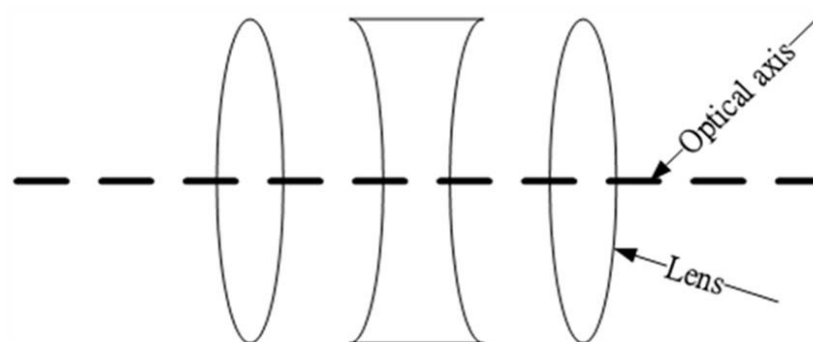
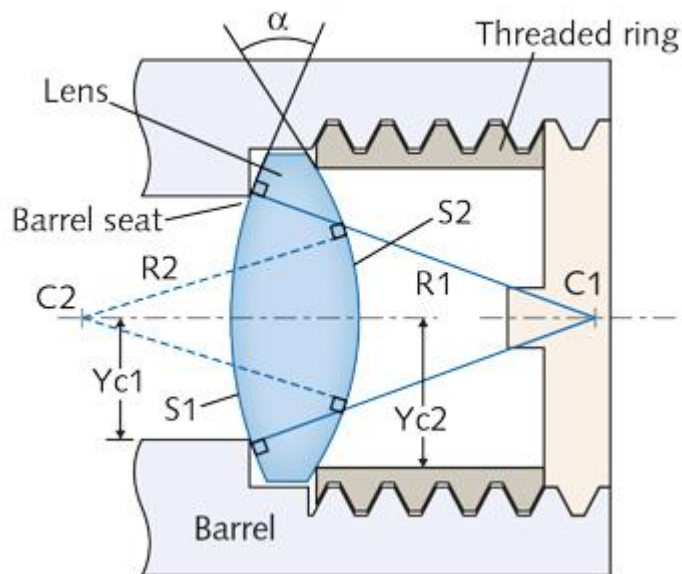
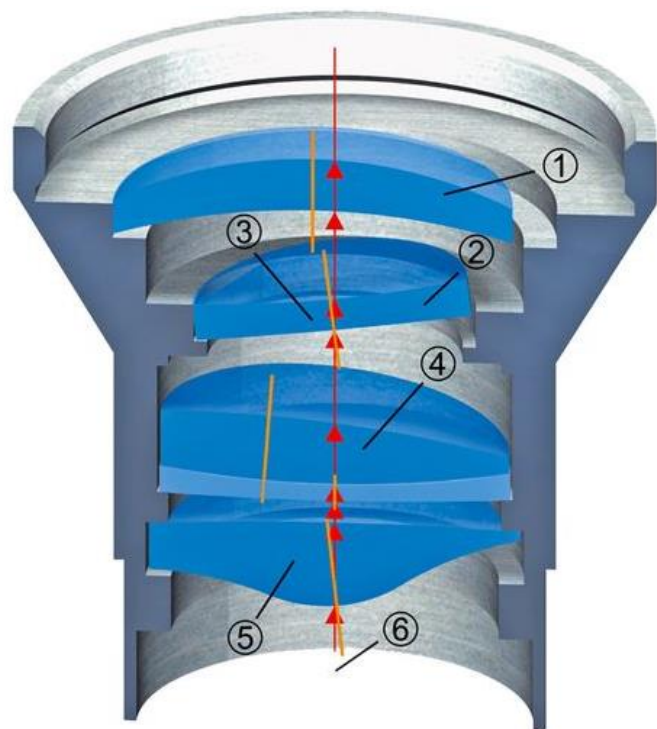
Error
= 0.549 wave
= 0.35 μm

דיוק רב נדרש בהצבה של האלמנטים האופטיים

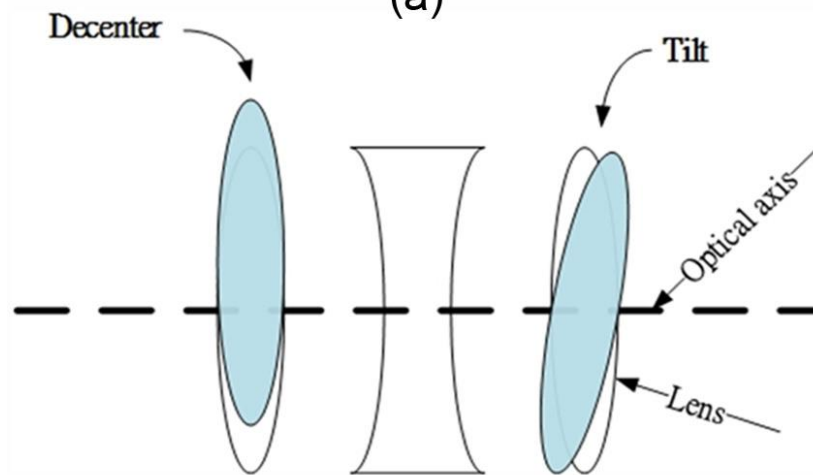


<http://tcistudio.co.uk/category/latest-work/page/2/>

אי דיוקים במיקום של האלמנטים



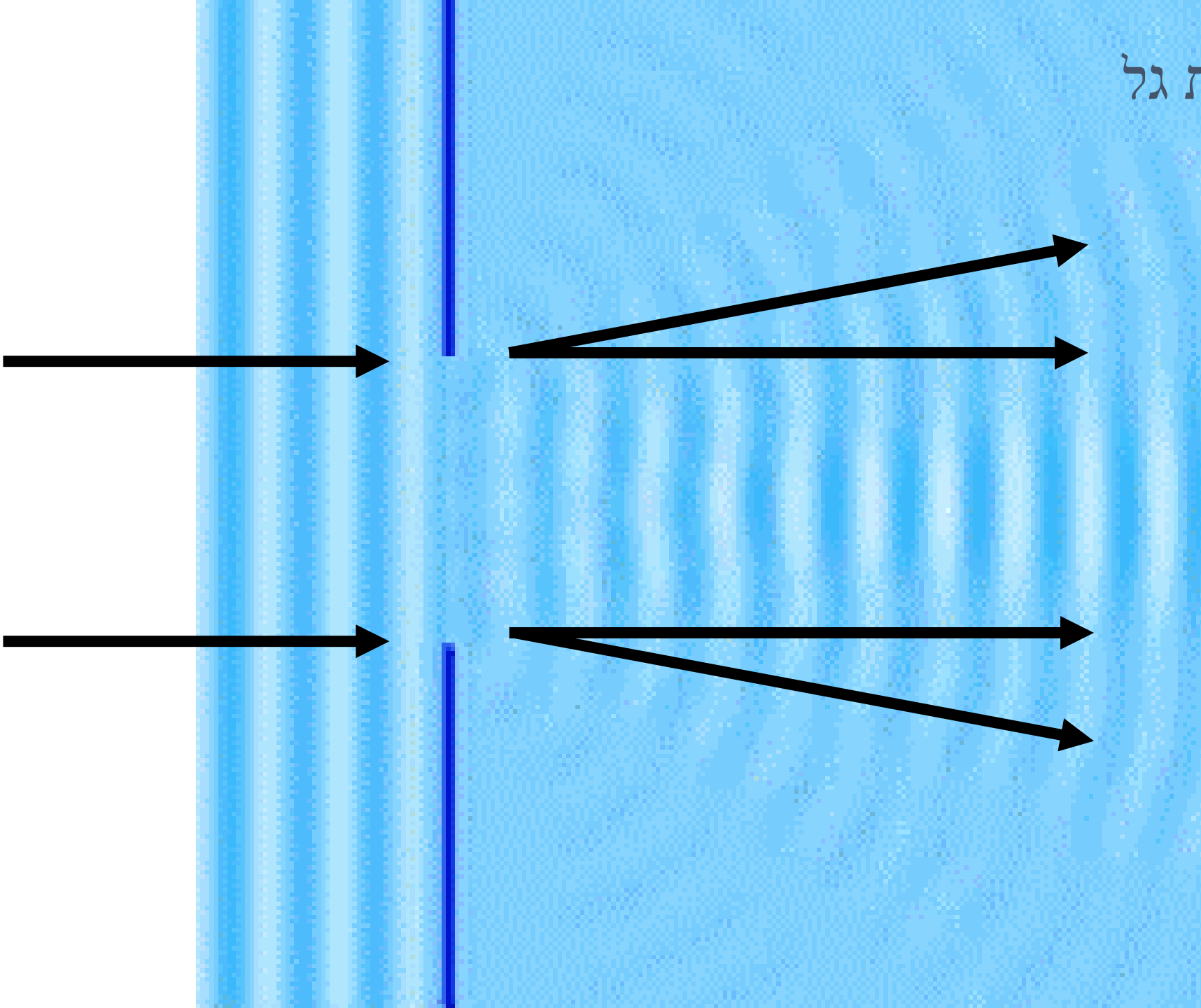
(a)



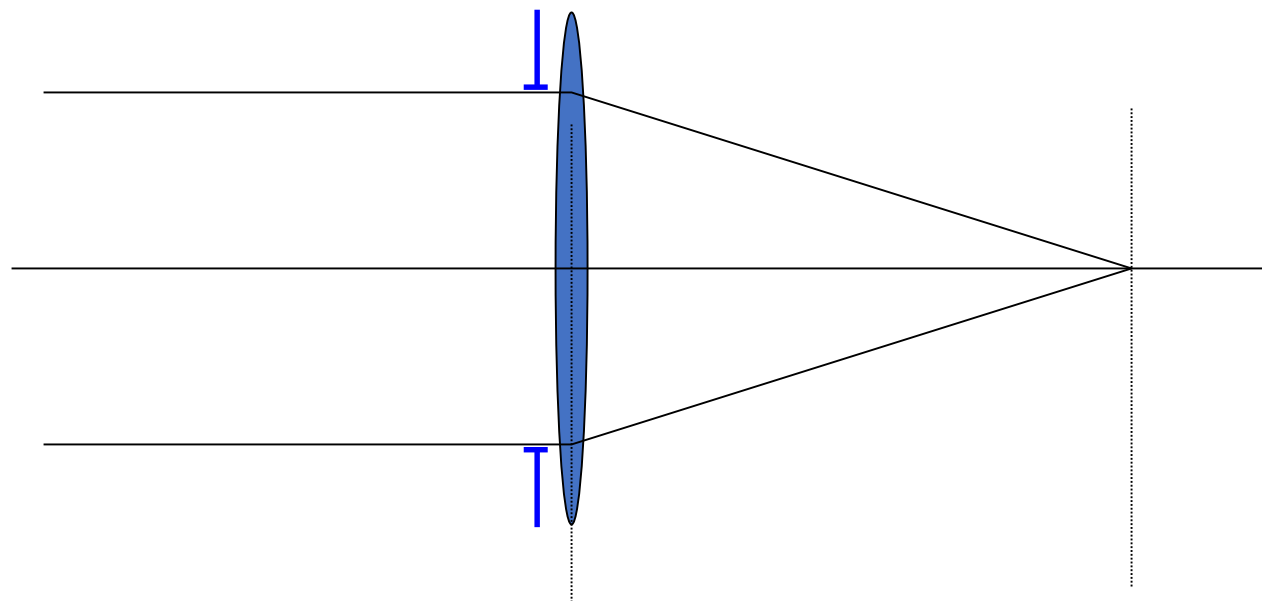
(b)

Diffraction limited

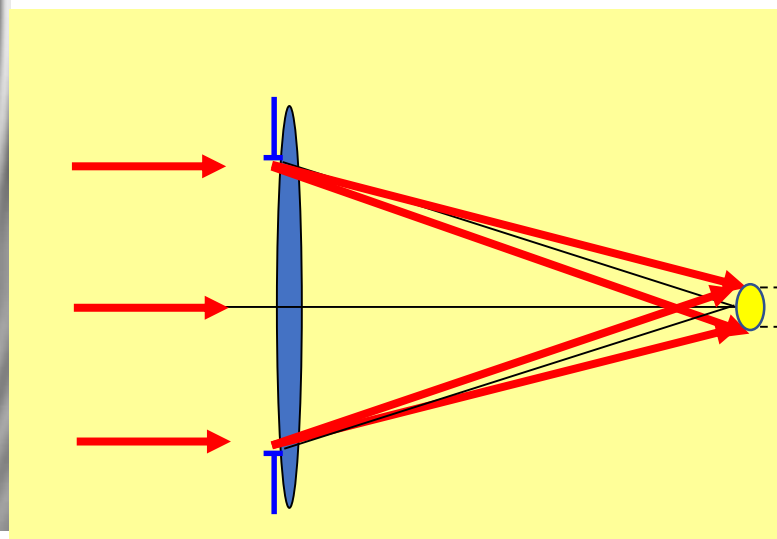
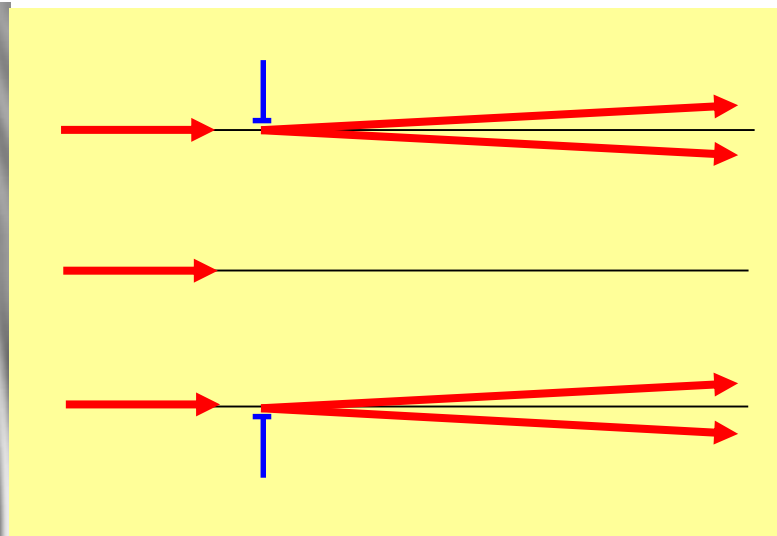
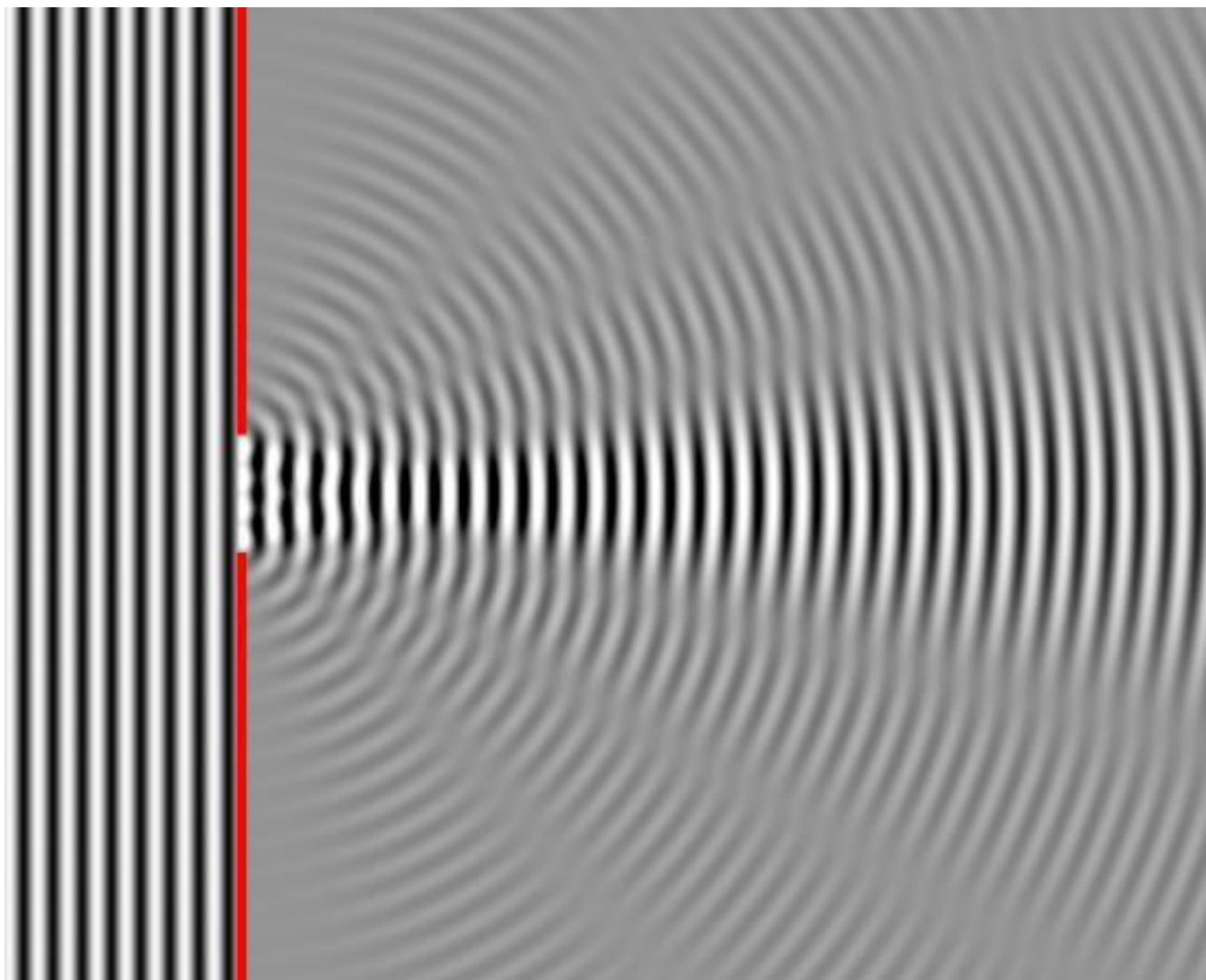
האור מתקדם בצורת גל



מגבלת העקיפה



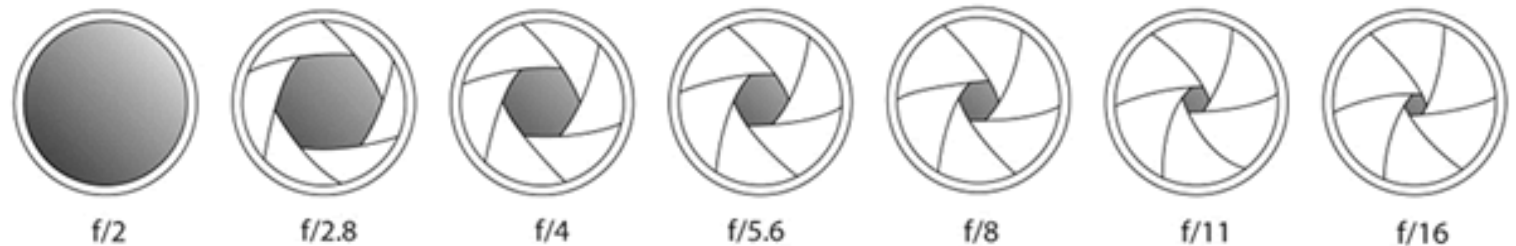
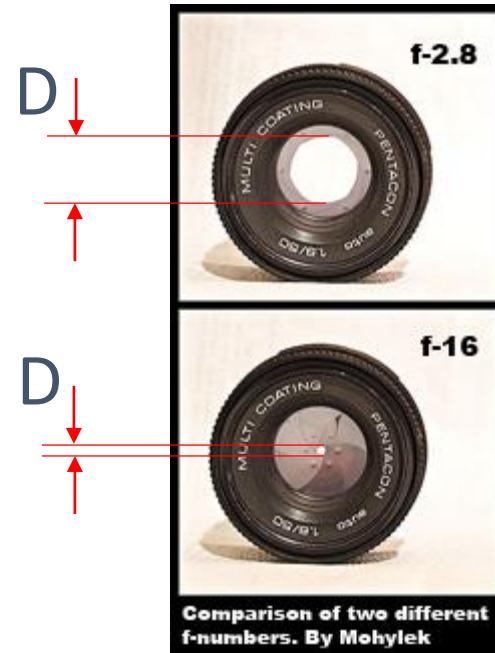
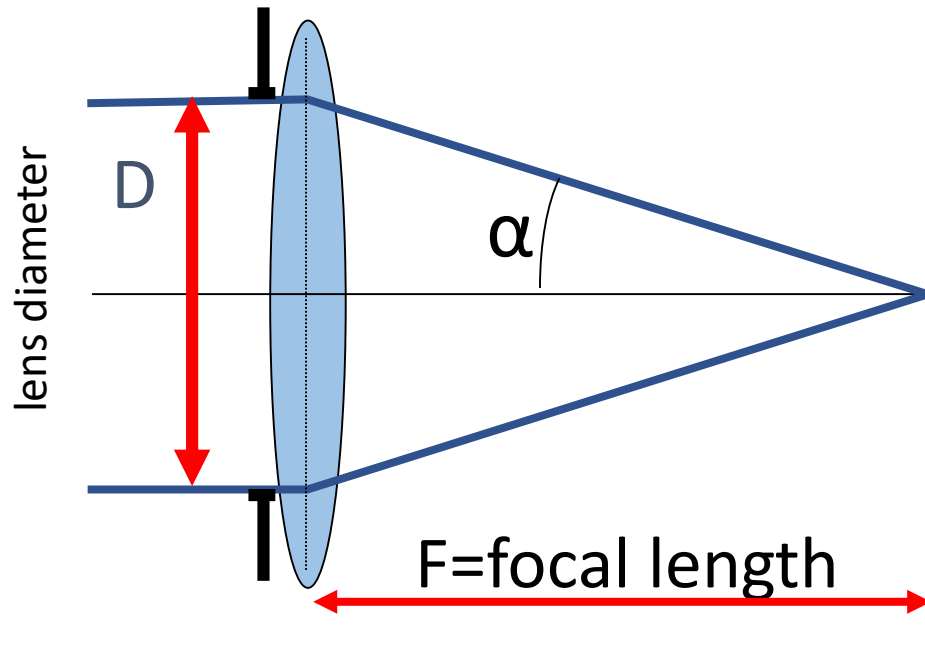
דיפרקציה (עקיפה) היוצרת טשטוש.



F-number: $F/\#$

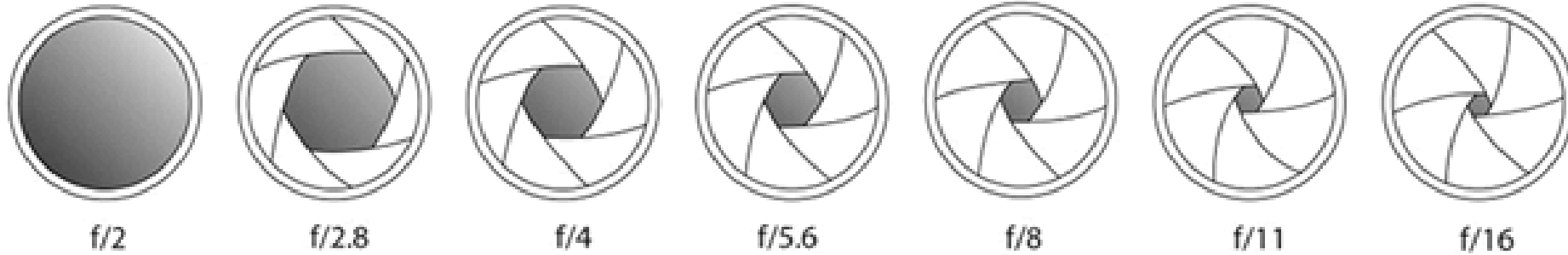


$$\text{F-number: } F/\# = F/D$$



<https://en.wikipedia.org/wiki/Aperture>

<https://tubularinsights.com/f-stop/>



Low F#

High F#

Wide Aperture

Small Aperture

More light reaching image



Less light reaching image

Higher spherical aberration



Lower spherical aberration

Smaller diffractive spot



Larger diffractive spot

$$D = 2.44 * \lambda * F/\#$$



הפרמטרים המשפיעים על מחירה של העדשה

- מספר האלמנטים
- צורת הפרופיל (ספרי \ א-ספרי)
- סוגי זכוכית מיוחדות
- דיוק נדרש מליטוש האלמנט (יצור אופטי)
- דיוק נדרש בהצבה (יצור מכני)
- דרישות על תנאי סביבה (טמפרטורה, לחות, רעידות)
- מגבלות נפח, משקל וצורת דפינה
- יצור סדרתי בכמות גבוהה (עדשת קטלוגים לעומת יצור לפי דרישה)
- תהליך הרכבה ידני מורכב ויקר הדורש מיומנות
- בקרה ובדיקה קפדנית לעמוד ביעדי איכות.
- דברים נוספים...



סיכום

- הסבר איך עובדת עדשה בודדת
- מבנה מפרט עדשה וסדרת דרישות
- פירוט גורמי טשטוש ודרכים להתגבר עליהם
- פרמטרים המשפיעים על מחיר העדשה

תם ולא נשלים

תודה רבה!

המרצה:

דוד פיש

David Fisch

f99.david@gmail.com

054-2405211

לשכת המהנדסים
האדריכלים והאקדמאים
במקצועות חשבונאות ולוגיים
בישראל

AEAI