جامعة دمياط - كلية العلوم - قسم الفيزياء

(Electricity and magnetism + Optics)

For Faculty of Science students (Geology-Petrol)

A course Presented by:

Dr./ Ahmed S. El-Tawargy

د./ أحمد صلاح الدين التوارجي

Lecturer of experimental physics

Lecture (4)

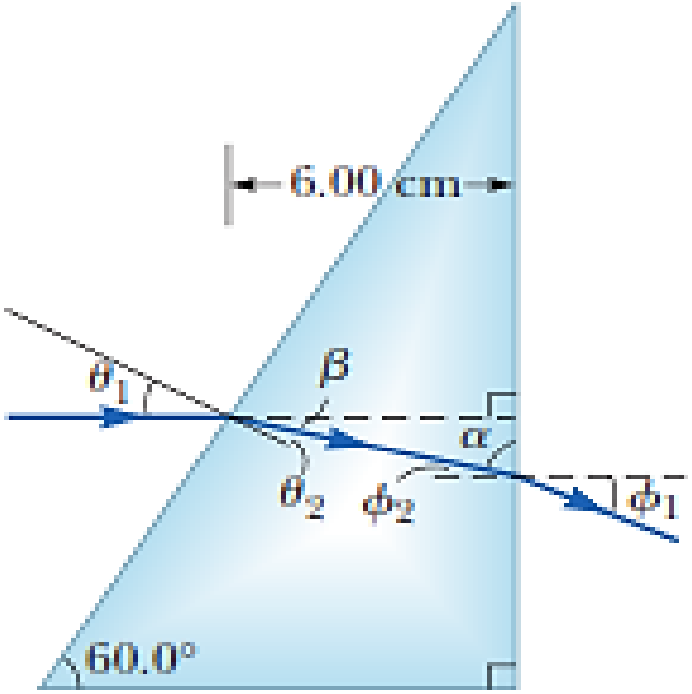
15-03-2020

Example: A beam of light is incident on a prism of a certain glass at an angle of $\theta_1 = 30.0°$, *as shown in figure.If the index of refraction of the glass for violet light is 1.80, find (a)* θ_2, *the angle of refraction at* ***the air–glass interface***,

(b) ϕ_2, *the angle of incidence at the glass air interface, and*

(c) ϕ_1, *the angle of refraction when the violet light exits the prism.*

(d) What is the value of Δy, *the amount by which the violet light is displaced vertically?*



Solution: (a) Find θ_2, the angle of refraction at the air–glass interface.

Use Snell's law to find the first angle of refraction:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \rightarrow 1.00 \sin 30 = 1.8 \sin\theta_2$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{0.50}{1.8}\right) = 16.1^o$$

(b) To find ϕ_2,

$$\beta = 30^o - \theta_2 = 30^o - 16.1^o = 13.9^o$$

$$180^o = 13.9^o + 90^o + \alpha \quad \rightarrow \quad \alpha = 76.1^o$$

The incident angle ϕ_2 at the glass–air interface is complementary to α:

$$\phi_2 = 90^o - \alpha = 90^o - 76.1^o = 13.9^o$$

(c) To find ϕ_1,

$$\phi_1 = \sin^{-1}\left(\frac{n_2 \sin\phi_2}{n_1}\right)$$

$$= \sin^{-1}(1.80 \sin 13.9^o) = 25.6^o$$

(d) To find Δy

Use the tangent function to find the vertical displacement:

$$\tan\beta = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \rightarrow \quad \Delta y = (6.00\ \text{cm})\ \tan(13.9^o) = 1.48\ \text{cm}$$

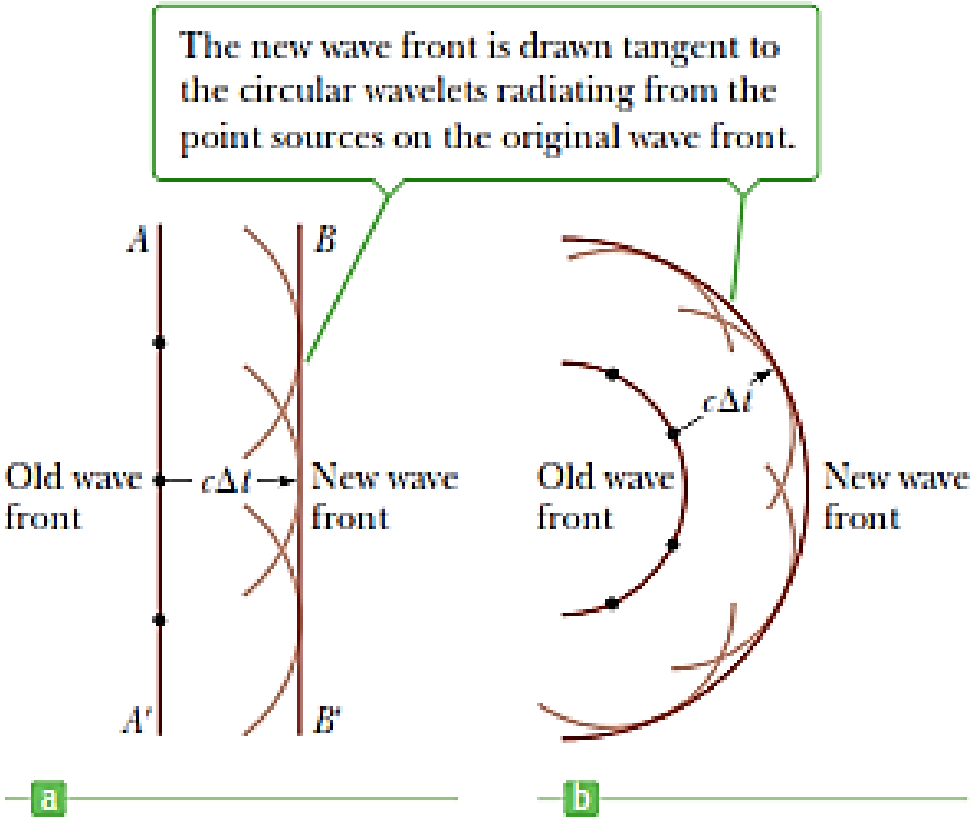
Huygens's principle مبدأ هيجنز

"All points on a given wave front are taken as point sources for the production of spherical secondary waves, called wavelets موجات, that propagate in the forward direction with speeds characteristic of waves in that medium. After some time has elapsed, the new position of the wave front is the surface tangent to the wavelets. "

This principle can be used to prove reflection and refraction laws as well as explaining diffraction.

Huygens's constructions for (a) a plane wave propagating to the right and (b) a spherical wave.

- In the figure, two waves are propagating; plane and spherical waves.
- In figure (a), at t=0 s, AA' is the wavefront.
- According to Huygens', each point on this wavefront is considered a point source. Each point source is a center of a circle with radius $c\,\Delta t$ *(or* $v\,\Delta t$ *in any other medium)*.
- The new wavefront BB' is the tangent of these wavelets.
- The same can be done with figure (b).

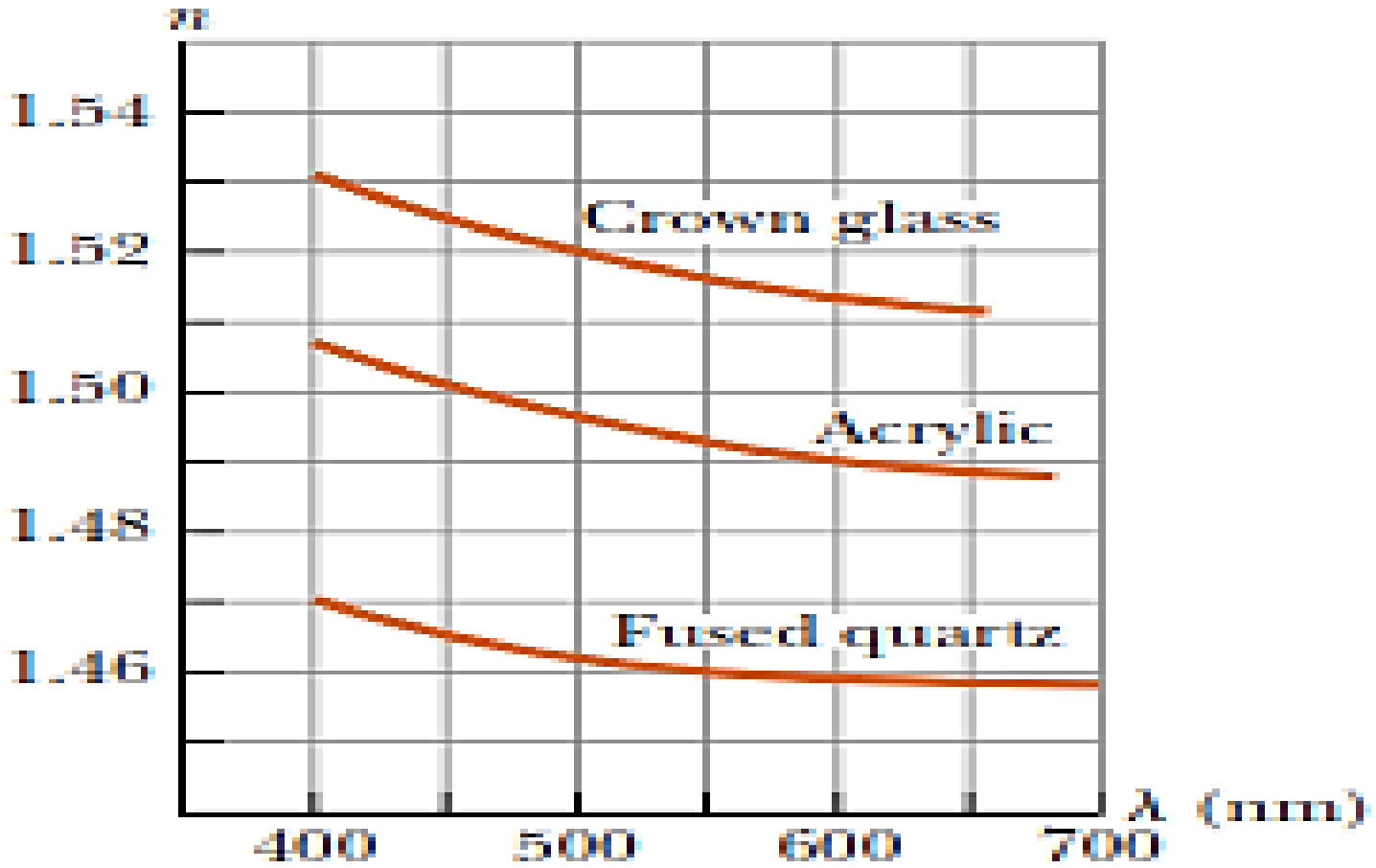


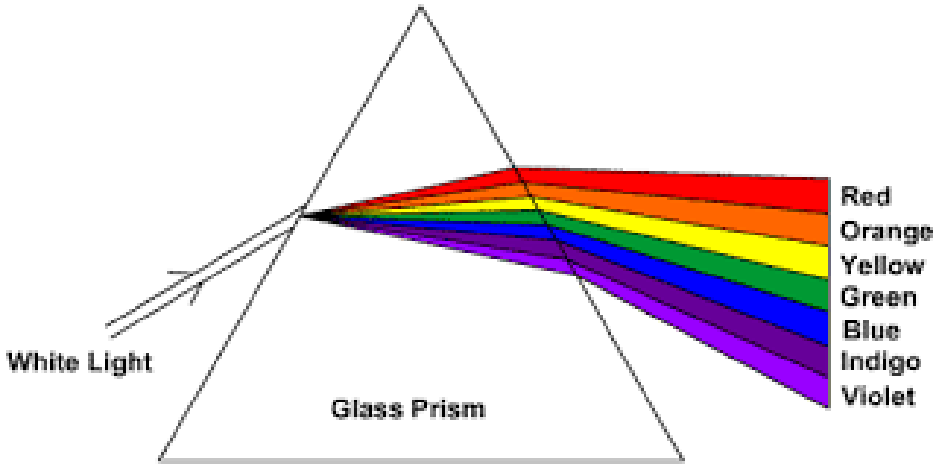
Dispersion of light & Prism

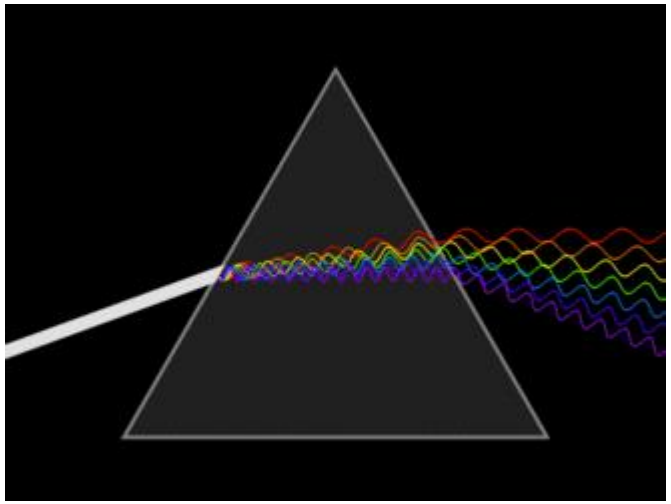
تشتت (تبدد) الضوء و المنشور

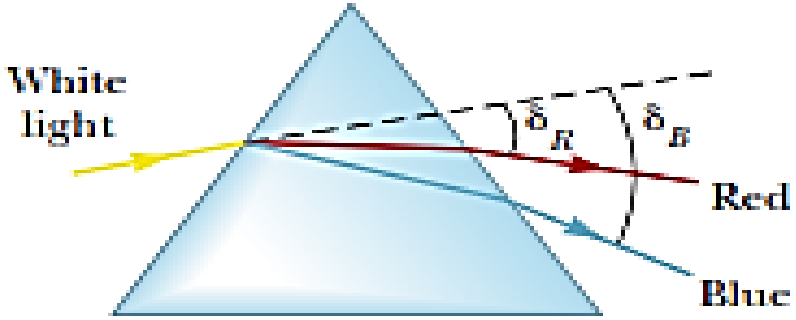
- The dependence of the index of refraction on wavelength is called ***dispersion***.
- The index of refraction for a material usually decreases with increasing wavelength.

This means that violet light (λ > 400 nm) refracts more than red light (λ > 650 nm) when passing from air into a material !!?









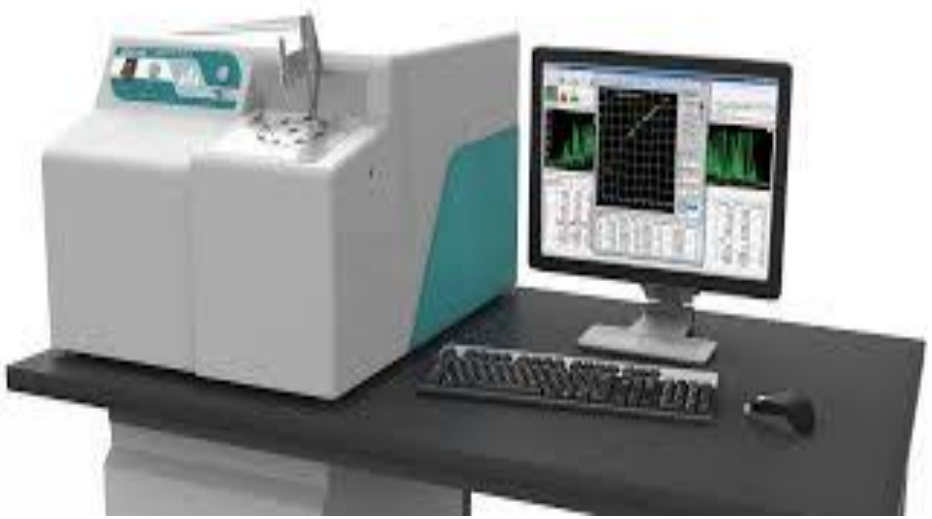
δ is called the deviation angle

زاوية الانحراف

The colors, in order of decreasing wavelength, are red, orange, yellow, green, blue, and violet. Violet light deviates the most, red light the least, and the remaining colors in the visible spectrum fall between these extremes.

Prisms are often used in an instrument known as a prism spectrometer (المطياف)

Prisms are the main parts of spectrometers.

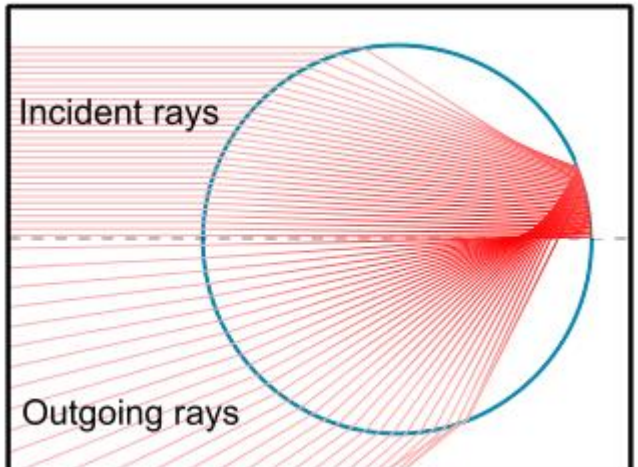


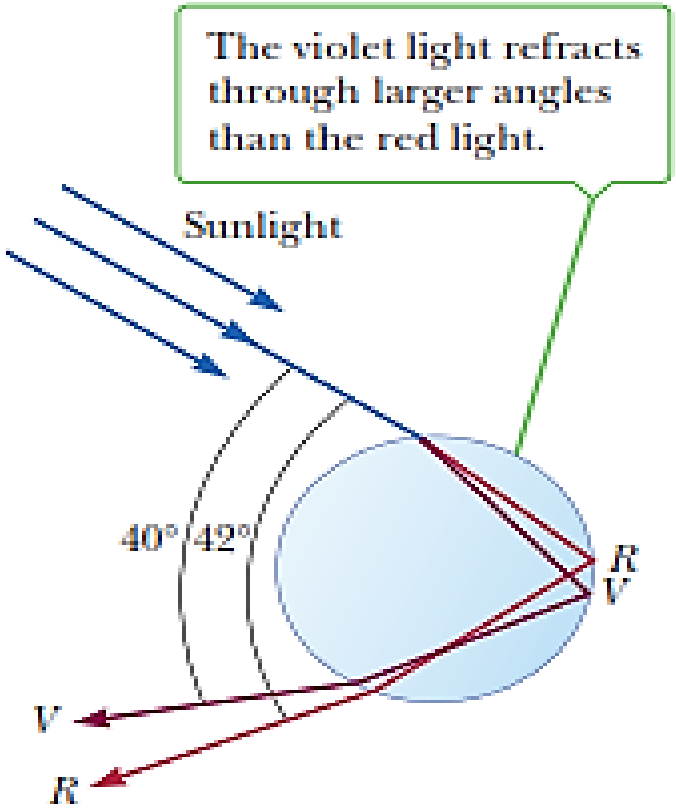
- Chemists and biologists use infrared spectroscopy to identify molecules.
- Astronomers use visible-light spectroscopy to identify elements on distant stars.
- Geologists use spectral analysis to identify minerals.
- All hot, low-pressure gases emit their own characteristic spectra, so one use of a prism spectrometer is to identify gases.

Rainbow قوس قزح

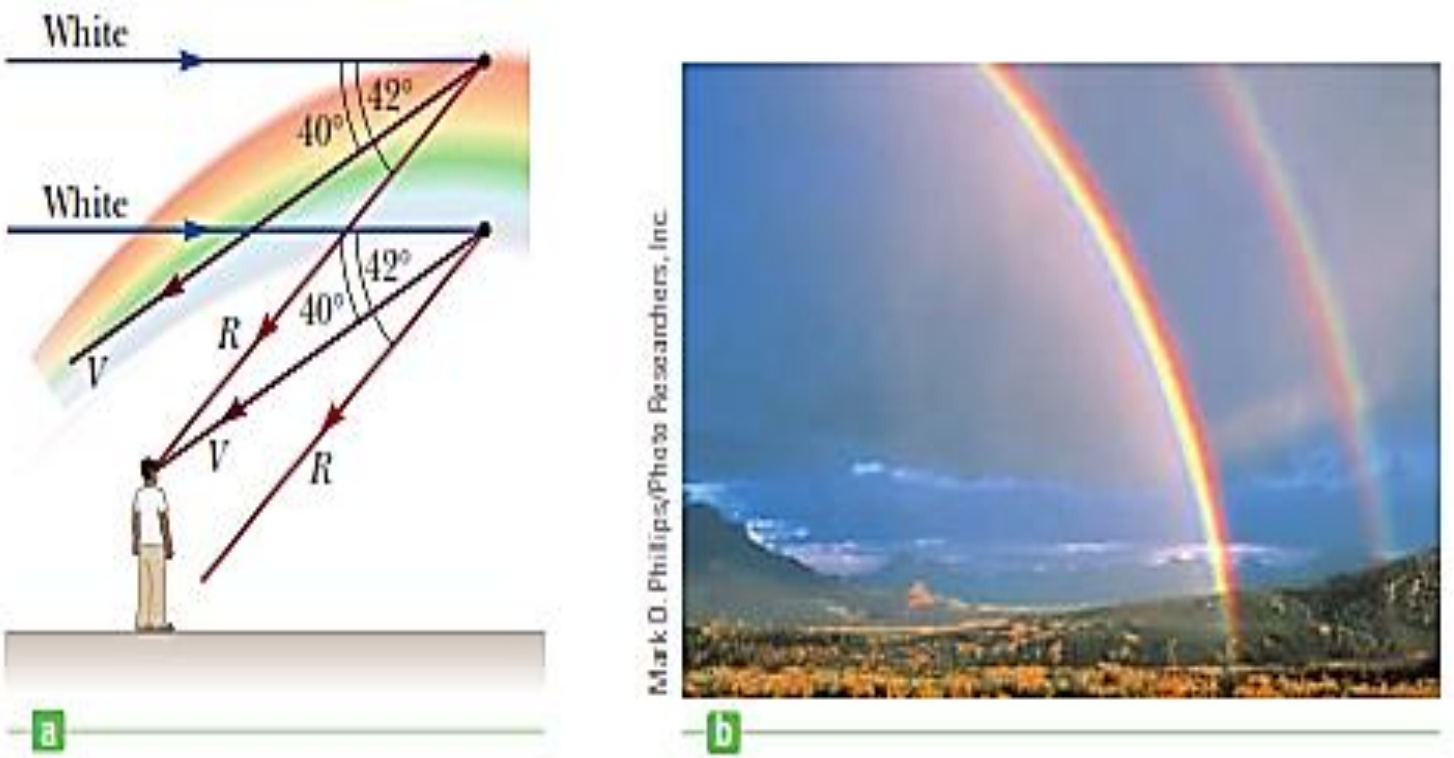
قَوْسُ قُزح يسمى كذلك قوس المطر أو قوس الألوان وهو ظاهرة طبيعية فيزيائية ناتجة عن انكسار وتحلل ضوء الشمس خلال قطرة ماء المطر، يظهر قوس المطر بعد سقوط المطر أو خلال سقوط المطر والشمس مشرقة

عند رؤية قوس قزح فهذا يعني أن عين المراقب تكون في اتجاه معاكس لاتجاه الشمس كما أن زاوية مخروطية تقع بين خط الأفق وأي نقطة على القوس.



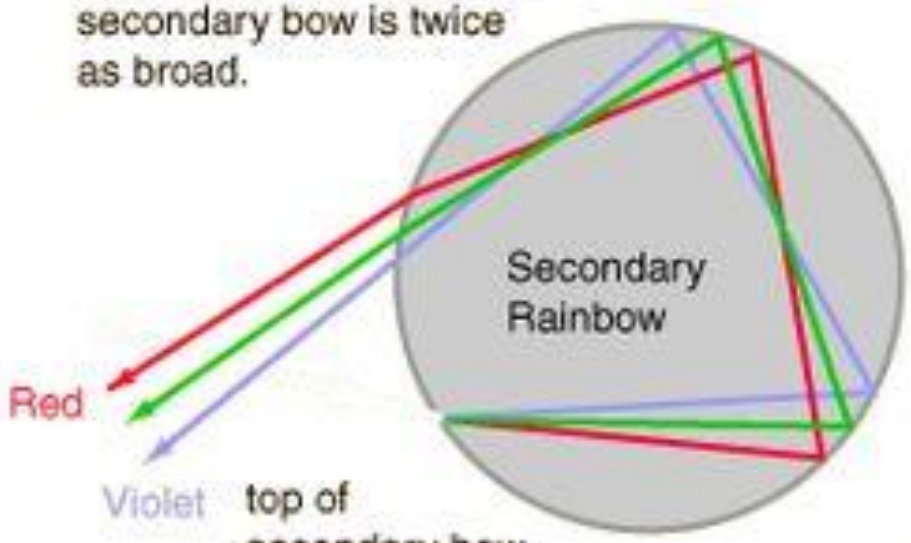


The rays leave the drop such that the angle between the incident white light and the most intense returning violet ray is 40° and the angle between the incident white light and the most intense returning red ray is 42°. This small angular difference between the returning rays causes us to see a colored bow.



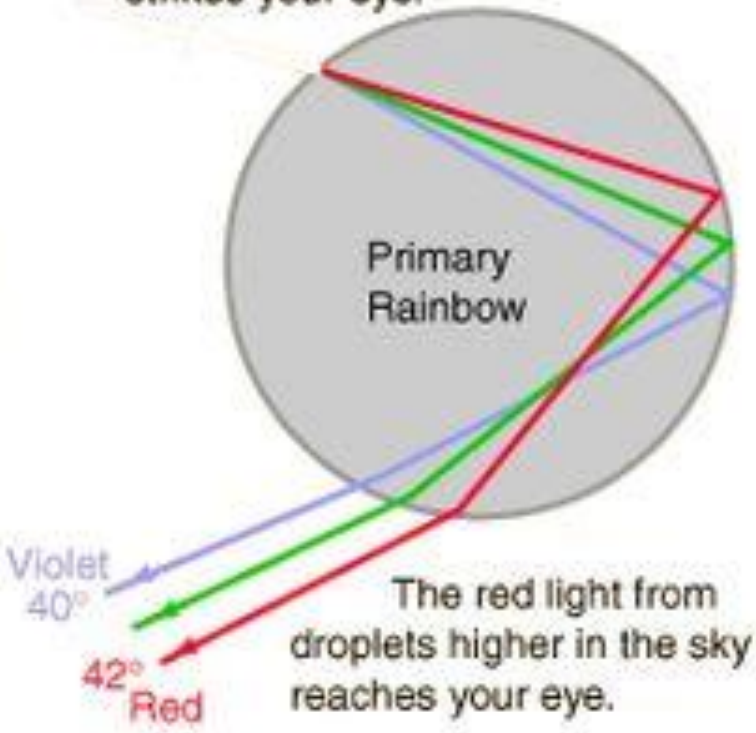
The formation of a rainbow seen by an observer standing with the Sun behind his back. (b) This photograph of a rainbow shows a distinct secondary rainbow with the colors reversed.

The colors of the secondary rainbow are reversed from the primary bow, and the secondary bow is twice as broad.



top of secondary bow since it comes to the eye from higher drops.

Violet light is bent more and comes out higher from the droplet. It appears at the bottom of the rainbow since violet light from lower droplets strikes your eye.



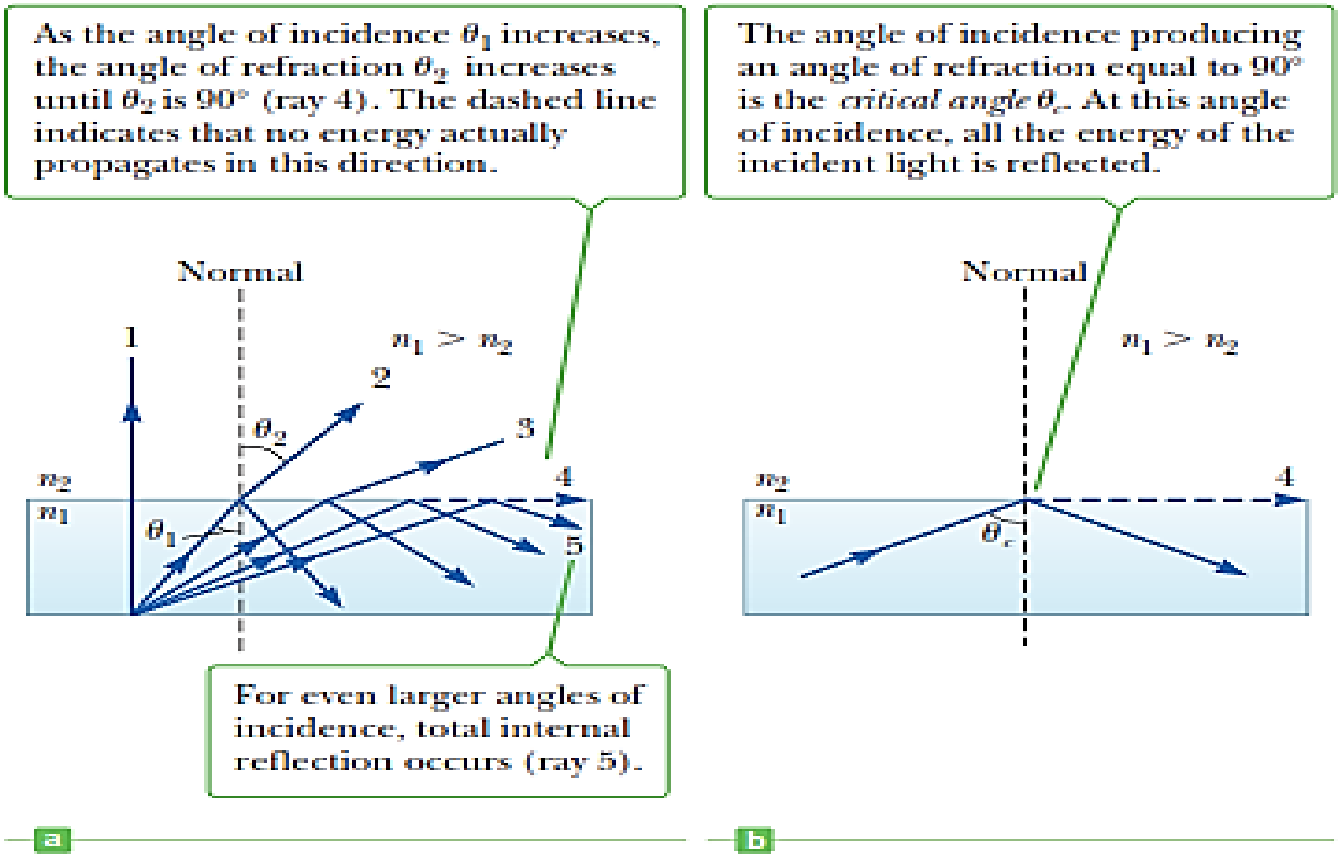
The red light from droplets higher in the sky reaches your eye.

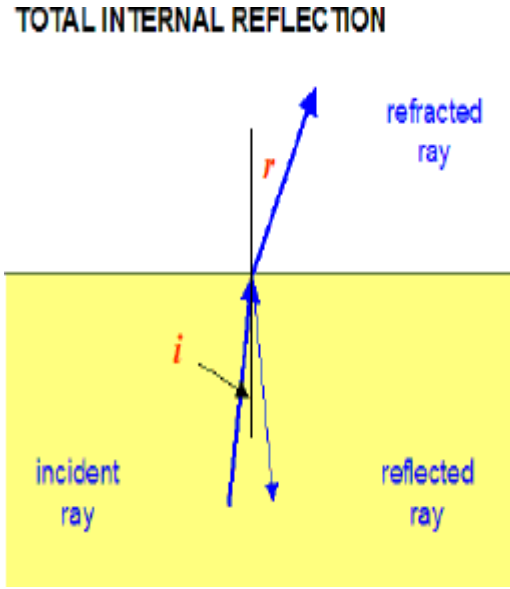
Total Internal Reflection (TIR) الانعكاس الكلي (التام) الداخلي

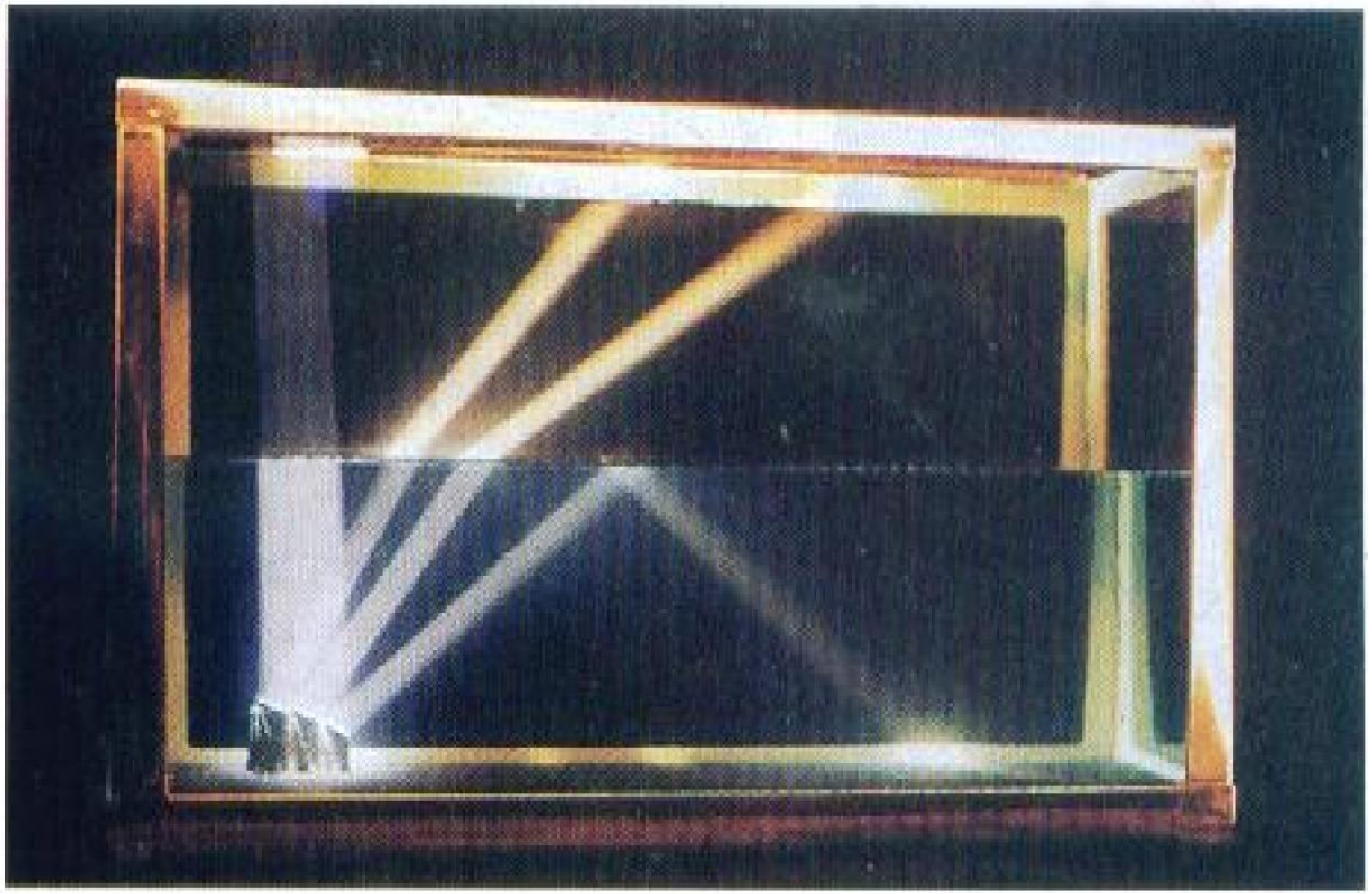
An interesting effect called total internal reflection can occur when light encounters the boundary between a medium with a higher index of refraction and one with a lower index of refraction. When $\theta_1 = \theta_c$ and $\theta_2 = 90°$, Snell's law gives

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^o = n_2$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{for} \quad n_1 > n_2$$







الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي

الانعكاس الكلي الداخلي https://www.youtube.com/watch?v=Y12lRVCOsto

Example:

(a) Find the critical angle for a water–air boundary.

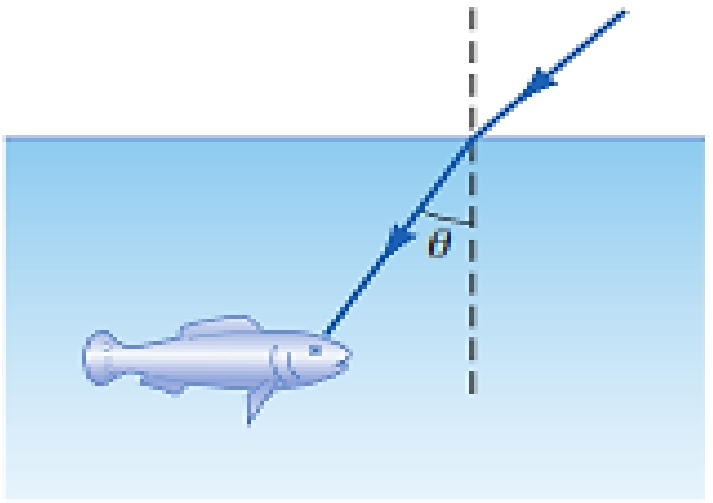
(b) Use the result of part (a) to predict what a fish will see if it looks up toward the water surface at angles of 40.0°, 48.6°, and 60.0°.

Solution:

(a) The critical angle for a water–air boundary.

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.00}{1.333} = 0.750$$

$$\theta_c = \sin^{-1}(0.750) = 48.6^o$$

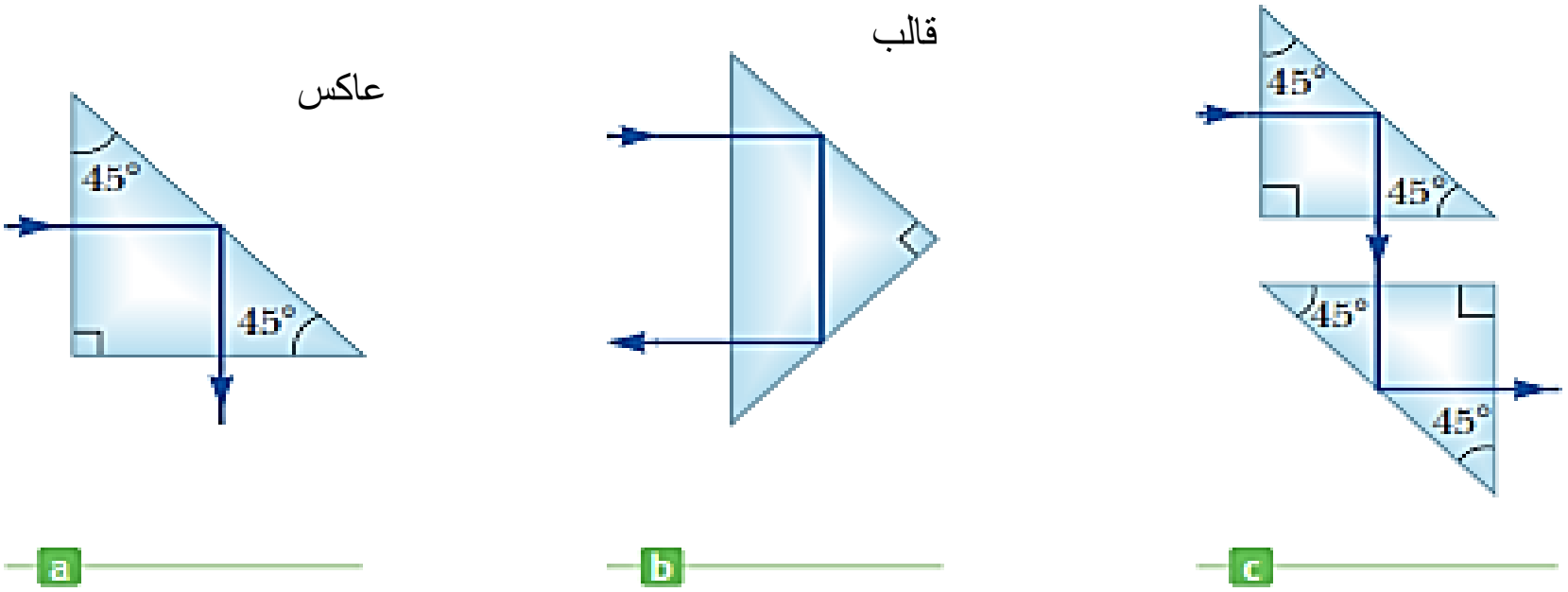


(b) At an angle of 40.0°, a beam of light from underwater will be refracted at the surface and enter the air above.

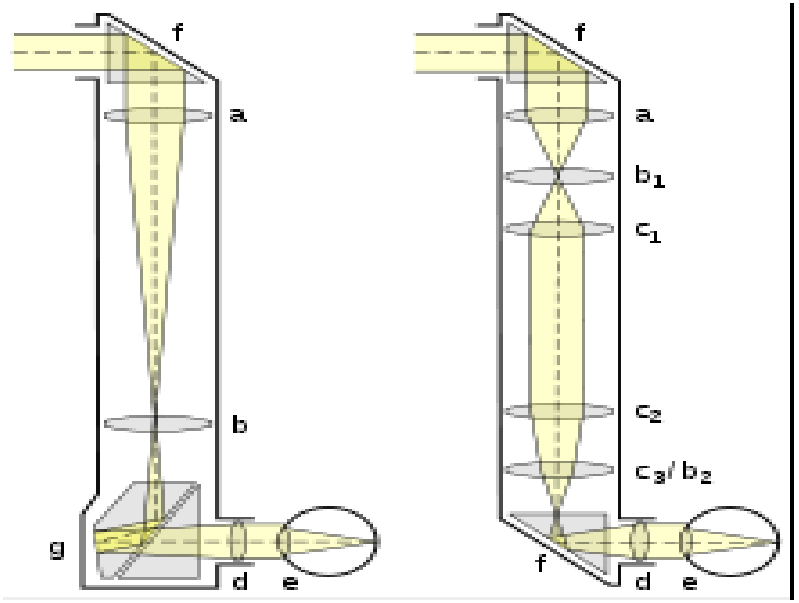
At an angle of 48.6°, the critical angle for water, light from underwater is bent so that it travels along the surface.

At angles greater than the critical angle of 48.6°, a beam of light shot toward the surface will be completely reflected down toward the bottom of the pool. Reversing the path, the fish sees a reflection of some object on the bottom.

(2) The right angle prism and the phenomenon of total internal reflection can *alter* the direction of travel of a light beam.



Internal reflection in a prism. (a) The ray is deviated by 90°. (b) The direction of the ray is reversed (retroreflector). (c) Two prisms used as a periscope.



Periscope (منظار الأفق أو المنفاق)

Submarine periscope

Right Angle Prism as a 90° Reflector

https://www.youtube.com/watch?v=Tr3dJruAfHY&feature=youtu.be

Right Angle Prism as a 180° Reflector = retroreflector?

https://www.youtube.com/watch?v=48ntmazFz0w&feature=youtu.be

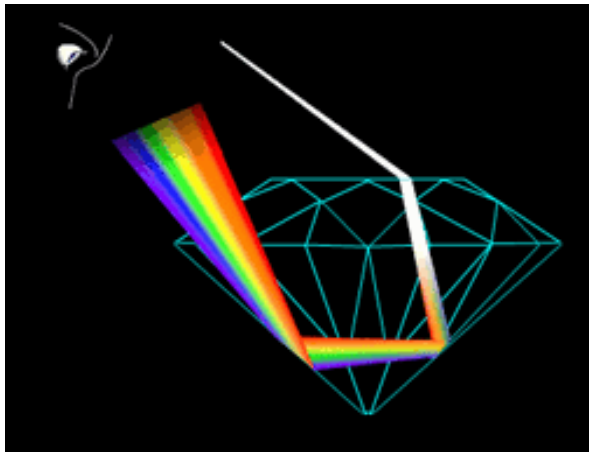
(3) Diamond simulant الماس المقلد أو المزيف

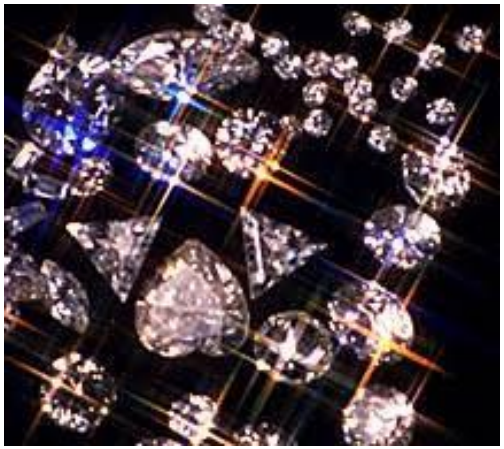
كشف الغش و التزييف من خلال الزاوية الحرجة

When medium 2 is air, the critical angle is small for substances with large indices of refraction, such ***as diamond, where n = 2.42 and θ_c = 24.0°.***

By comparison, ***for crown glass, n = 1.52 and θ_c = 41.0°.***

This property, combined with proper faceting, causes a diamond to sparkle brilliantly.

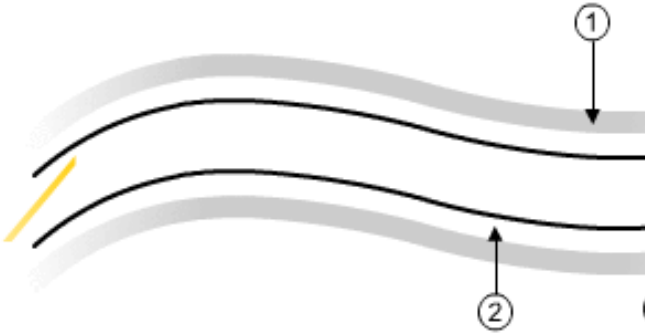


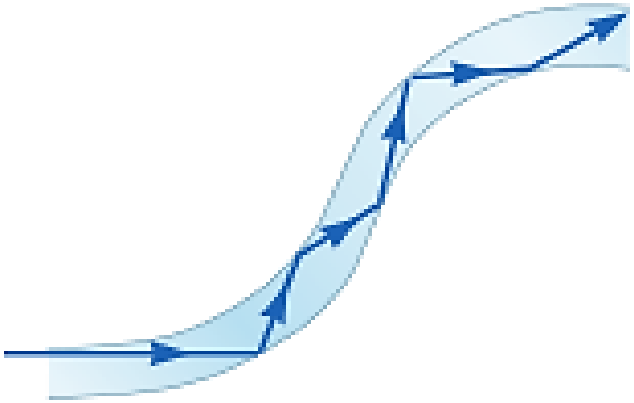


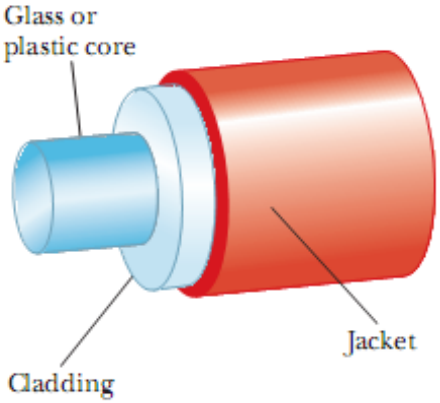
Do you know other physical methods to differentiate between real and fake elements or materials?

(4) Optical fibers (or fibres) الألياف البصرية

- An optical fiber is a solid glass or a transparent plastic rod to “pipe or guide” light from one place to another.
- It is an application of total internal reflection to transfer an image from a point to another.
- Very little light intensity is lost in these fibers as a result of reflections on the sides.
- ***Physicians*** often use fiber-optic cables to aid in the diagnosis and correction of certain medical problems without the intrusion of major surgery.





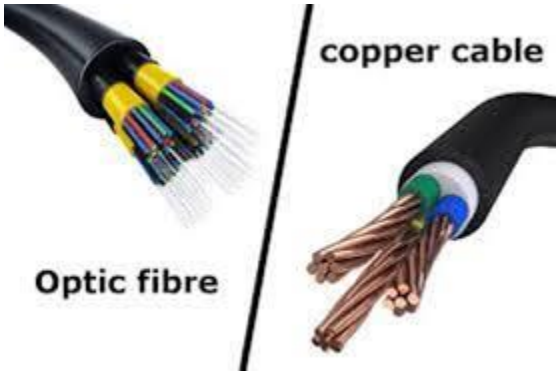


Optical fibers - physics experiment

https://www.youtube.com/watch?v=Wp3ScRXaXVE

الالياف البصرية

https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%8A%D9%81_%D8%A8%D8%B5%D8%B1%D9%8A



لماذا الالياف البصرية افضل من اسلاك النحاس في نقل الاشارة؟

https://www.hazemsakeek.net/%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%B0%D8%A7-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%84%D9%8A%D8%A7%D9%81-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%B5%D8%B1%D9%8A%D8%A9-%D8%A7%D9%81%D8%B6%D9%84-%D9%85%D9%86-%D8%A7%D8%B3%D9%84%D8%A7%D9%83-%D8%A7%D9%84-2/?fbclid=IwAR1RWgX8qpDVbHv19pbtZqJGkzgyd_i90Q61SG44OqXnDrmhtWmMzSr_FM0

Guiding light by water

https://www.youtube.com/watch?v=hBQ8fh_Fp04

Optical fiber cables, how do they work?

https://www.youtube.com/watch?v=jZOg39v73c4

Lecture (5)

What to learn in this lecture?

- Image formation by mirrors
  (Flat & Curved)

تكوّن الصور بالمرايا المستوية و الكريّة

- The mirror’s equation

  معادلة المرآة

- Aberration of mirrors
- الزيغ في المرايا

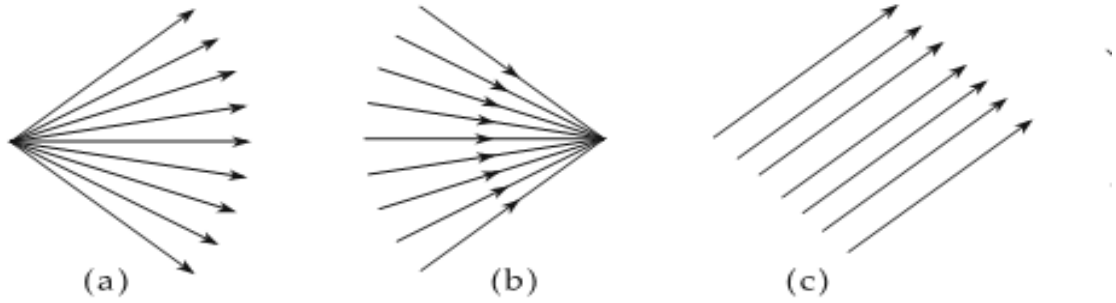
Image formation تكون الصور

Images can be mainly formed either by reflection or refraction on flat or curved surfaces. Mirrors and lenses are designed with certain specifications to be used in image formation with desired characteristics of the obtained image.

تتكون الصور بالانعكاس كما بالمرايا أو بالانكسار كما بالعدسات

An object, to be imaged, is considered the origin of the light rays which fall on a mirror or a lens as a bundle. The travelling rays of the bundle could be divergent, convergent or parallel.

الحزمة الضوئية تكون فيها الآشعة متوازية أو مُجمعة أو متفرقة.



Bundle of
(a) divergent rays
(b) convergent rays
(c) parallel rays.

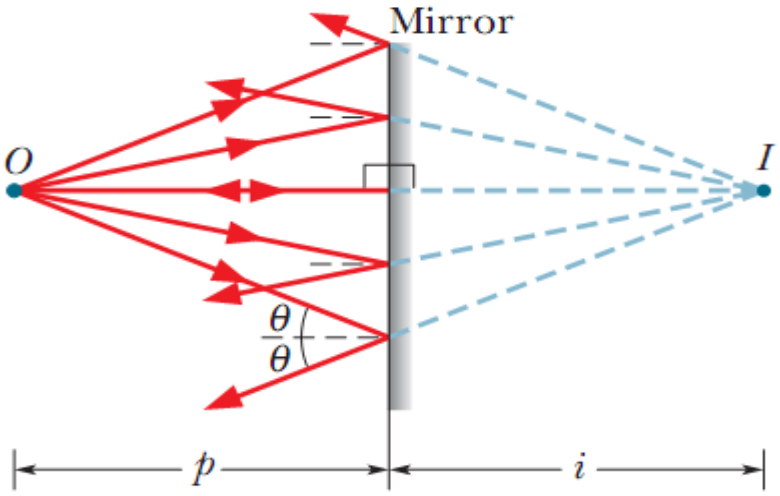
Image formation by mirrors (*flat and curved*)

Image formation by *a flat (plane) Mirror*
المرآة المستوية

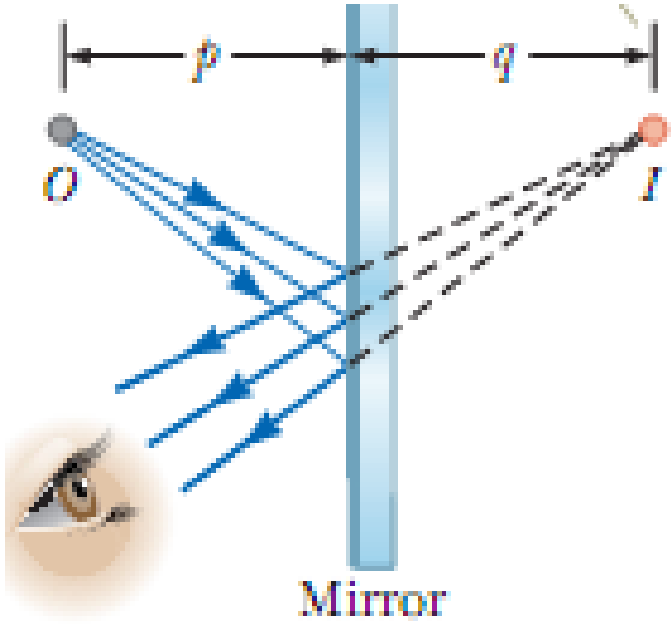
Each point of the extended object is considered as a point source emits rays in all directions.

المرآة المستوية تكوّن صورة تقديرية للجسم

In a plane mirror the light seems to come from an object on the other side.



- في الشكل: مصدر نقطي O تنبعث منه الأشعة divergent لتنعكس على سطح المرآة.
- بتطبيق قوانين الانعكاس على هذه الأشعة نجد أنها تنعكس divergent لتصل إلى العين الراصدة.
- امتدادات الأشعة المنعكسة تتجمع converge في نقطة تخيلية تقع خلف المرآة و على مسافة تساوي بُعد الجسم عن المرآة.



- **تبدو** الصورة و كأنها صادرة من النقطة التخيلية I. و لذلك فالصورة **تقديرية** و ليست حقيقية.

- ما الفرق بين مفهومي الصورة الحقيقية و الصورة التقديرية؟

The Physics Classroom

https://www.physicsclassroom.com/mmedia/optics/ifpm.cfm

What are Real and Virtual Images?

https://www.youtube.com/watch?v=EwBK_cXUTZI

Real and virtual images ***الصور الحقيقية و الصور التقديرية***

- *الصورة الحقيقية ناتجة من تجمع الآشعة في نقطة (موضع الصورة) و يُمكن استقبالها على حائل*
- *الصورة التقديرية لا يُمكن استقبالها على حائل حيث إن الآشعة لا تصل لموضع الصورة و لكن امتدادات الآشعة المكونة لها تبدو كأنها تخرج متفرقة من موضع الصورة. و مثال لذلك الصورة المُتكونة بالمرآة المستوية حيث لا يوجد أي أثر للضوء خلف المرآة (أي في موضع الصورة).*

- *Images formed by flat mirrors are always virtual* and can't be displayed on a screen.

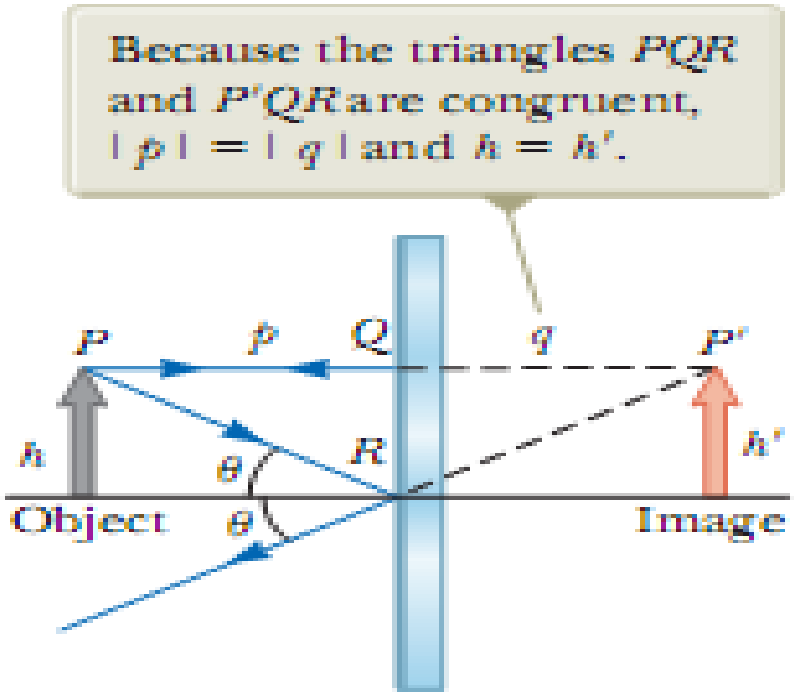
The lateral magnification (M): التكبير الجانبي

$$M = \frac{height\ of\ the\ image}{height\ of\ the\ object} = \frac{h\prime}{h}$$

For a flat mirror, *M=1*.
The positive sign of *M* means that the image is upright (i.e. not inverted in direction).

قيمة التكبير لو كانت أقل من واحد فإن الصورة مصغرة
و إذا كانت أكبر من واحد تكون الصورة مكبرة
و إذا كانت تساوي الواحد فإن الصورة مساوية للجسم كما في حالة المرآة المستوية
إذا كانت إشارة التكبير موجبة فهذا يعني أن الصورة في نفس جهة الجسم و تسمى Upright
و إذا كانت سالبة فإن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم و تسمى Inverted

Question: Prove that P=q or h=h’ using a plane mirror.



في الشكل المقابل:
جسم تكونت له صورة بمرآة مستوية
نتتبع شعاعين فقط كمثال و هما الموضحين باللون الأزرق
أحدهما سقط عمودياً على المرآة و انعكس على نفسه و الآخر سقط بزاوية θ مع الأفقي و انعكس بزاوية انعكاس مساوية لقيمة زاوية السقوط
و نجد أن نقطة تلاقي امتدادات الآشعة المنعكسة تقع خلف المرآة
و على بُعد من المرآة مساوياً لبُعد الجسم عن المرآة
و يمكن اثبات ذلك من هندسة الشكل و تطابق المثلثين

و هذا هو إجابة السؤال باللون الأحمر أعلى الصفحة

لوصف أي صورة متكونة سواء بمرآة أو عدسة
لابد من معرفة 3 اشياء:
هل الصورة مكبرة أم مصغرة
هل الصورة معتدلة أم مقلوبة
هل الصورة حقيقية أم تقديرية

و بالتالي فإن خصائص الصورة الناتجة عن استخدام مرآة مستوية هي:
Characteristics of the image formed by a plane mirror:

مساوية للجسم M=1 معتدلة Upright تقديرية Virtual

A flat mirror produces an image that has an apparent left–right reversal.

الصورة المتكونة بالمرآة المستوية تكون معكوسة يميناً بيسار

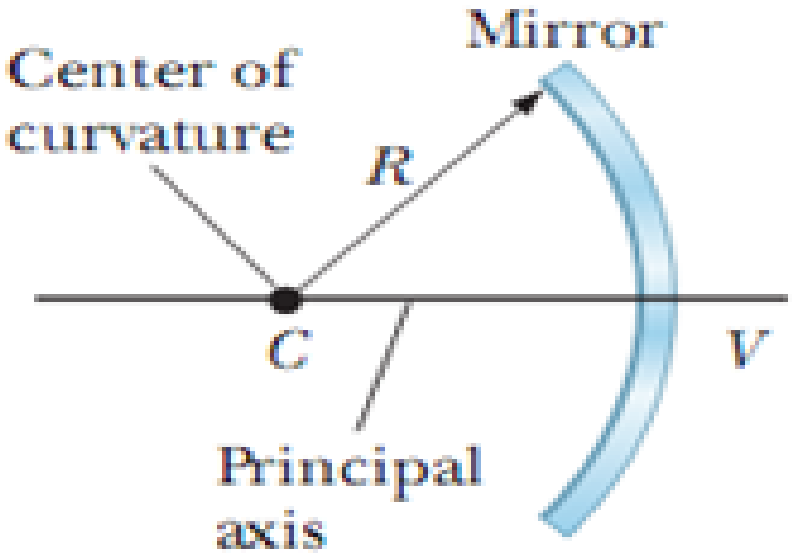
و لذلك نجد أن كلمة اسعاف مكتوبة معكوسة لتظهر في مرآة السائق المستوية بطريقة معتدلة

Images Formed by Spherical Mirrors

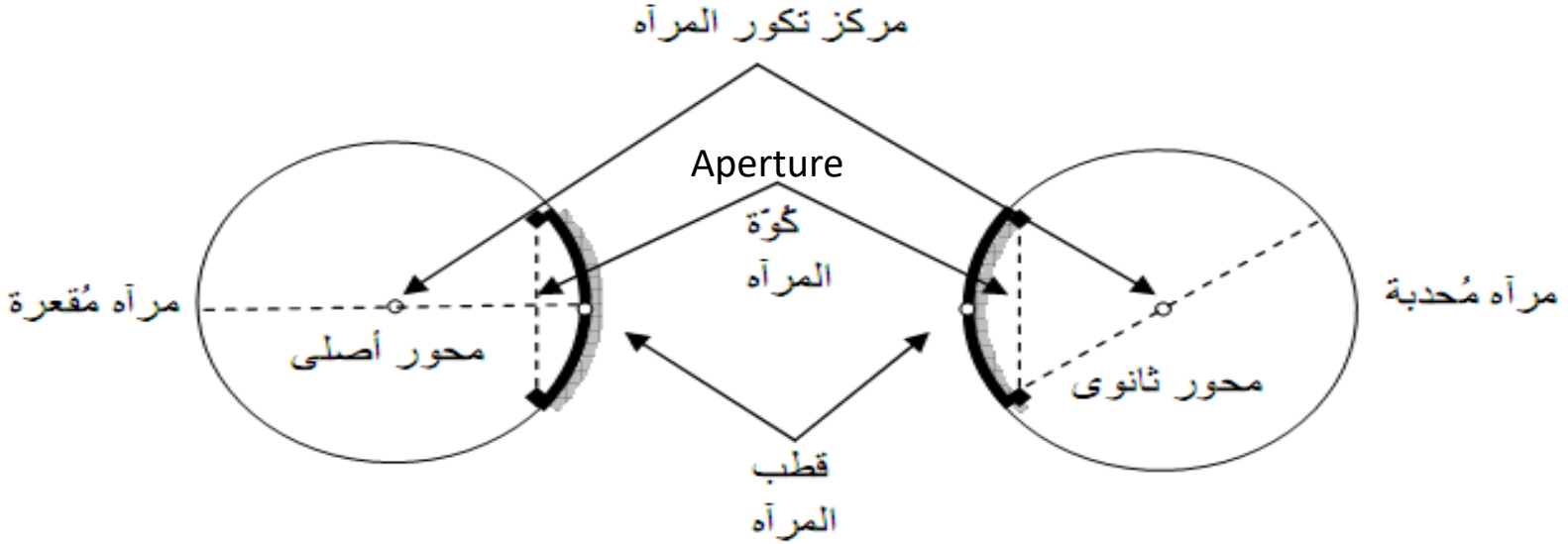
Curved mirrors can be manufactured with different curvatures; *spherical*, *elliptical*, *etc.* The first type will be considered in the next sections.
A spherical mirror has the shape of a section of a sphere and could be either *a concave or a convex* one.

Image formation by a concave (converging) mirror (مرآة مُقعرة (لامة

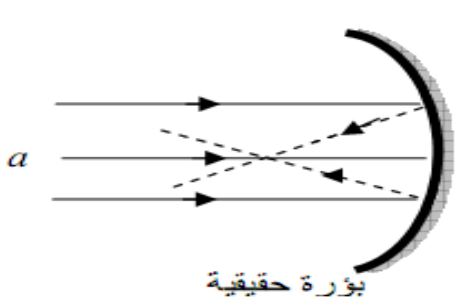
- Radius of curvature *R* of the mirror نصف قطر الكور
- *C* is its centre of curvature
- *V* (vertex قطب of the mirror) locates at the centre of the spherical section.
- The line passes through *C* and *V* is the mirror's principal axis. المحور البصري الأساسي

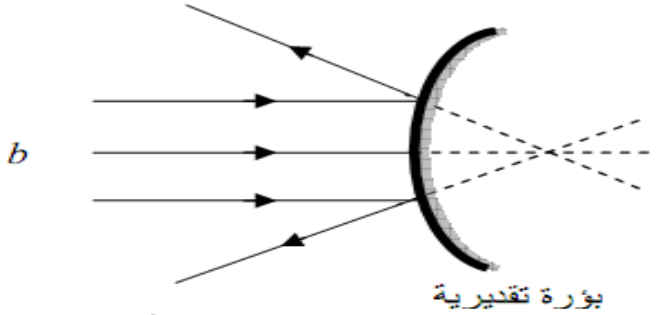


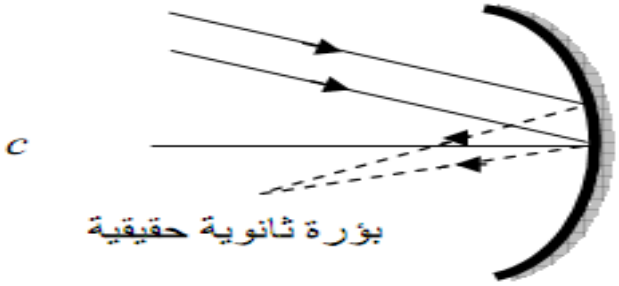
بعض التعريفات الخاصة بالمرايا

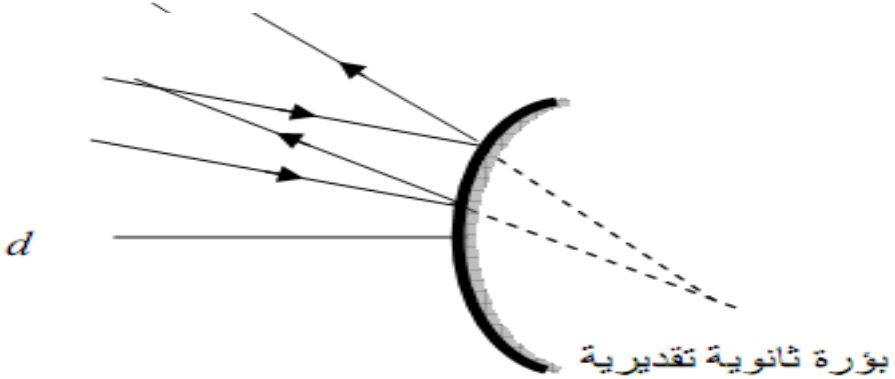


بؤر المرايا









- All incident rays are supposed to be ***paraxial***.

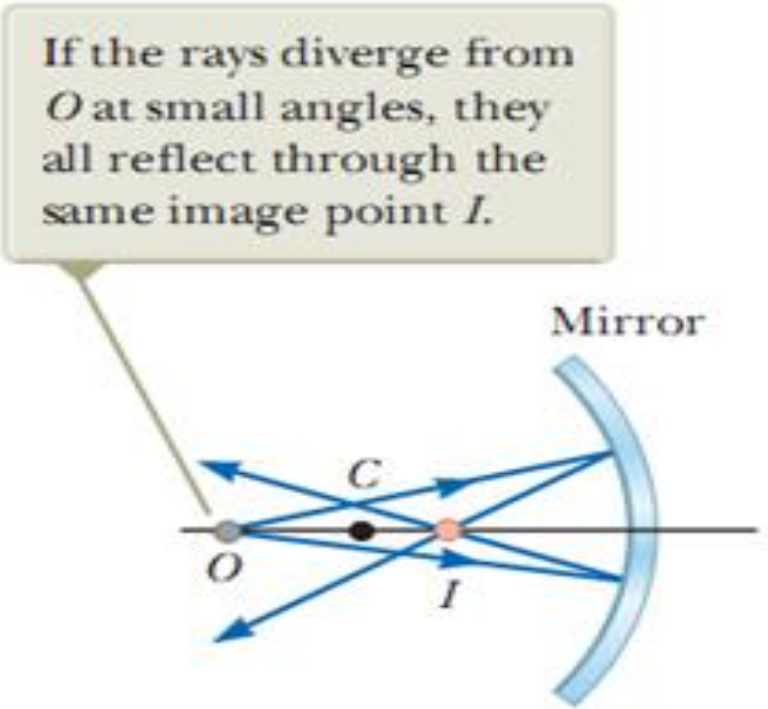
Paraxial آشعة محورية أي قريبة من المحور البصري الأساسي

- Paraxial rays make small angles with the optical (principal) axis.

- Paraxial rays are referred for those rays which are coming parallel or diverging from a point source.

- بتطبيق قانوني الانعكاس على حزمة من الآشعة المتوازية الساقطة على مرآة مُقعرة، نجد ان الآشعة تتجمع في نقطة واحدة (البؤرة) بعد الانعكاس.

- في الشكل المقابل، O جسيم نقطي تنبعث منه آشعة ضوئية باتجاه المرآة المُقعرة و هذا الجسيم موضوع على مسافة كبيرة من المرآة و كذلك تصنع زوايا صغيرة مع المحور البصري. إذا تتبعنا مساري شعاعين سنجد أنهما ينعكسا ليتجمعا في البؤرة ثم يكملا مسارهما مُتباعدين.



- الآشعة المنعكسة (نفسها و ليس امتداداتها) تصل لموضع الصورة و بالتالي الصورة هنا **حقيقية** ***real image***.

هل المرآة المُقعرة تُكوّن صور حقيقية دائماً؟

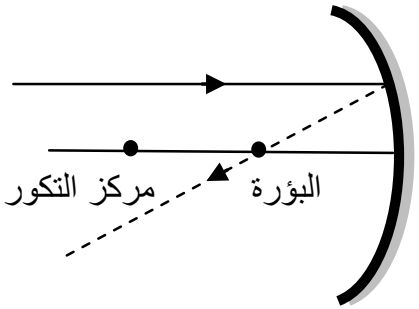
و ماذا أيضاً عن المرآة المُحدبة؟ سنرى ذلك لاحقاً...

يُمكن تعيين موضع و صفات الصور المتكونة بمرآه مُقعّرة بالإستعانة بمعرفة مسارى شعاعين (على الأقل) من الآشعة المُوضّحة بالشكل (I.5). فى هذا الشكل نجد أن:

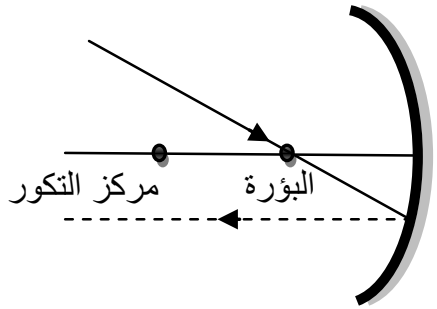
الحالة (*a*): شُعاع يسقط مُوازياً للمحور الأصلى فينعكس ماراً بالبؤرة الأصلية.

الحالة (*b*): شُعاع يسقط ماراً بالبؤرة الأصلية فينعكس مُوازياً للمحور الأصلى.

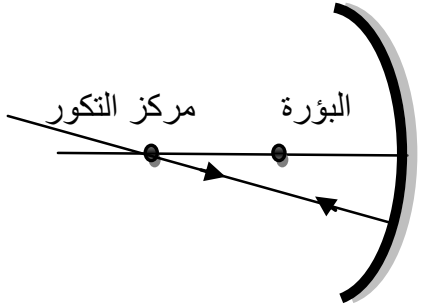
الحالة (*c*): شُعاع يسقط ماراً بمركز التكور فيسقط عمودياً على المرآه فينعكس على نفسه.



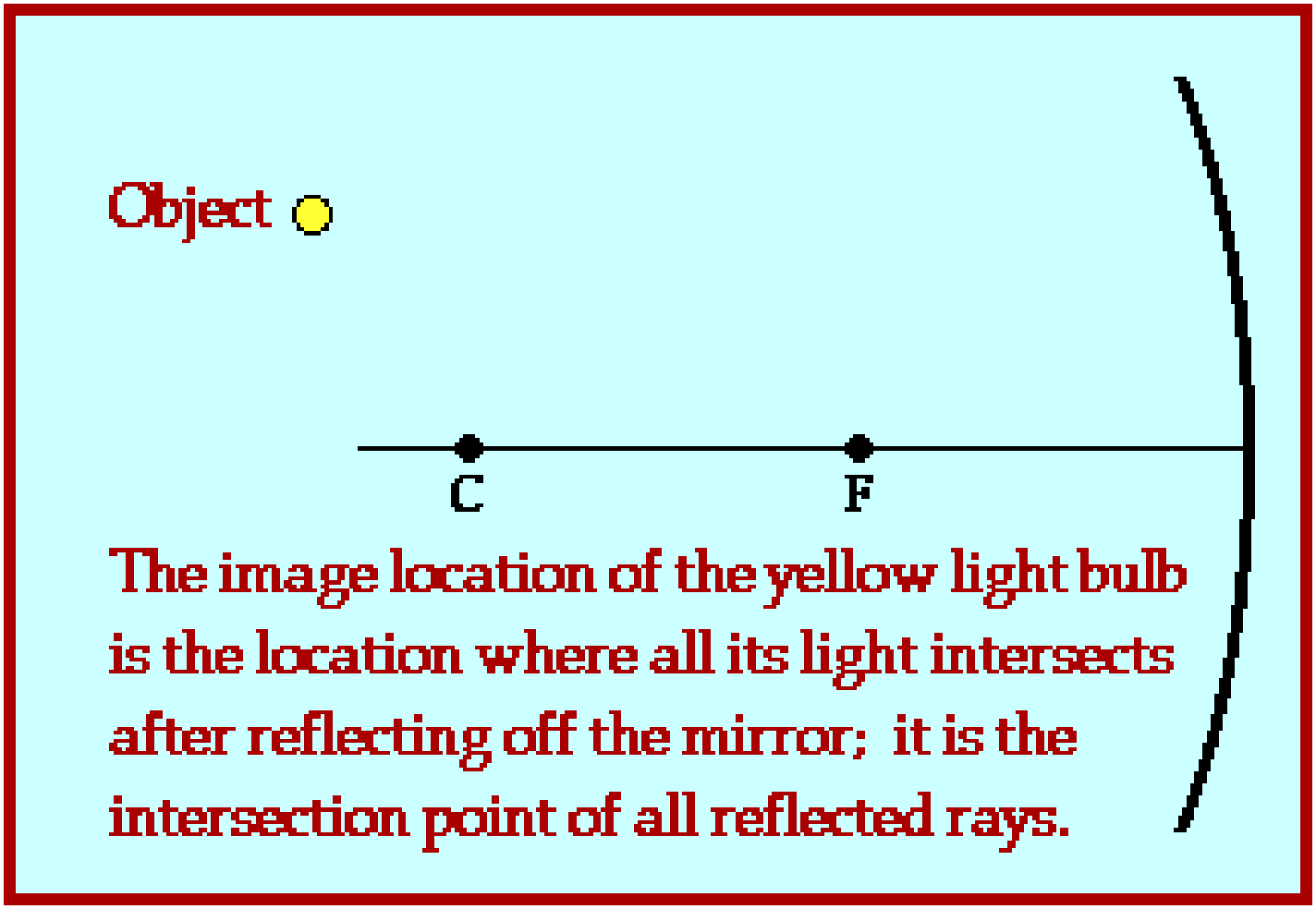
(*a*)



(*b*)

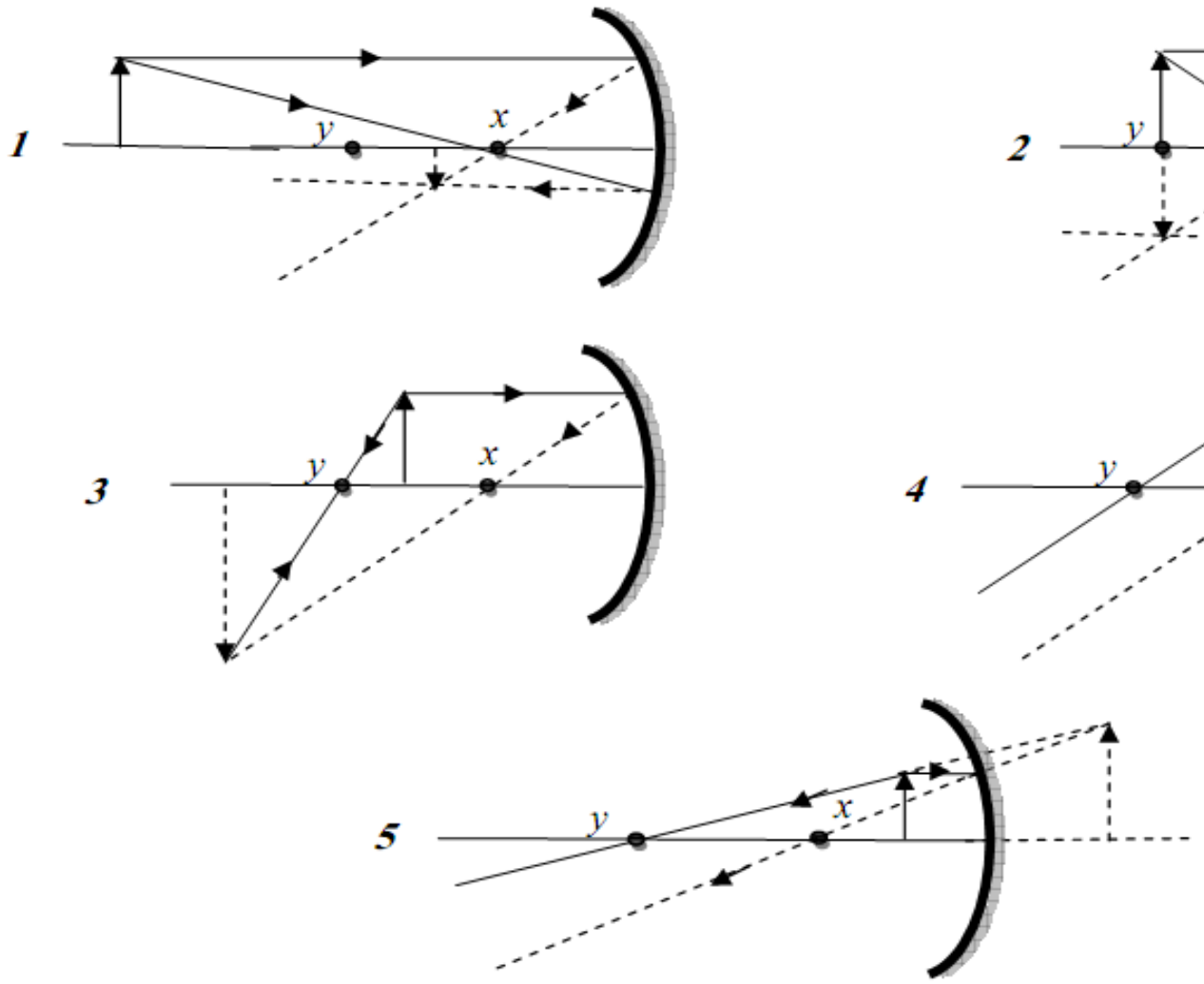


(*c*)

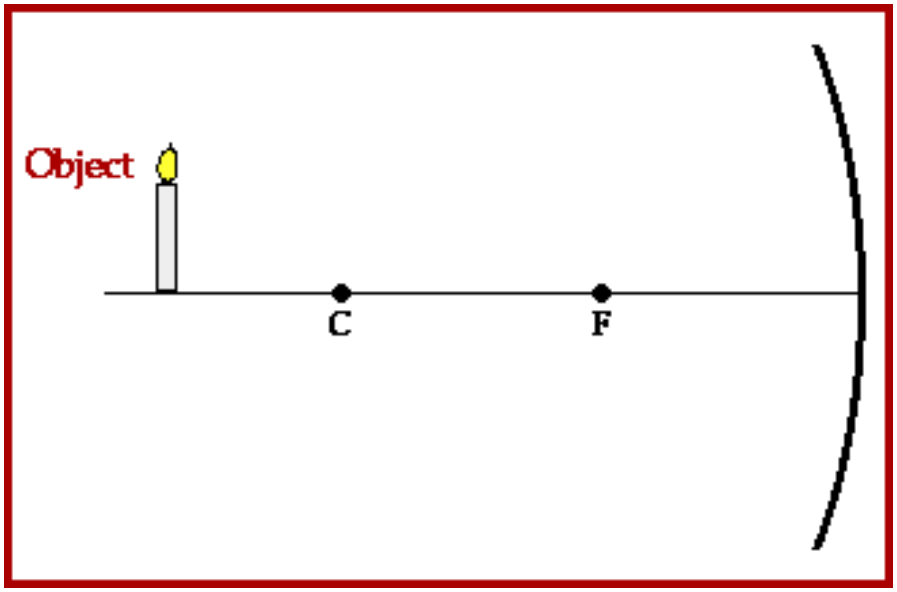

Object
C
F
The image location of the yellow light bulb is the location where all its light intersects after reflecting off the mirror; it is the intersection point of all reflected rays.

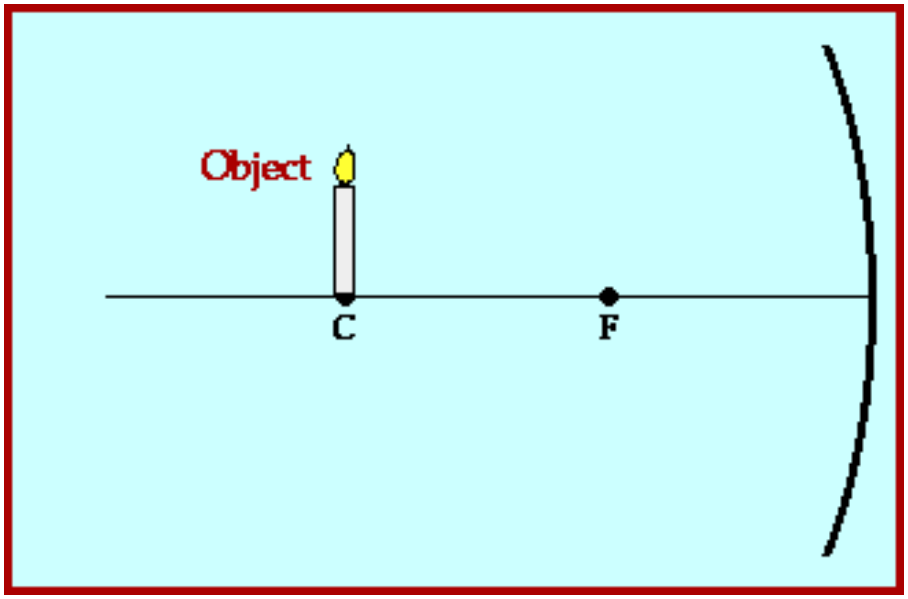
Ray Diagrams for Concave Mirrors

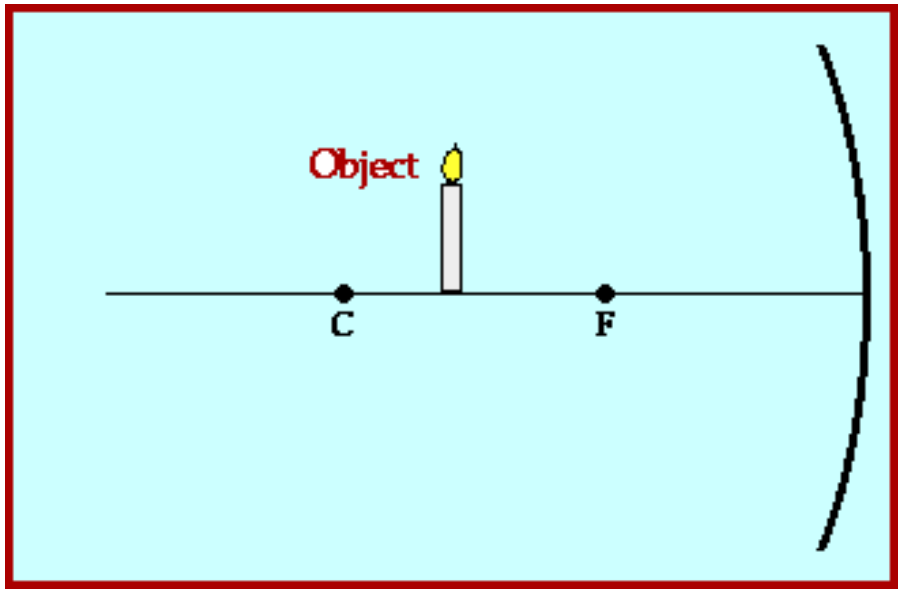
حالات تكوّن الصور بالمرايا المُقعّرة.

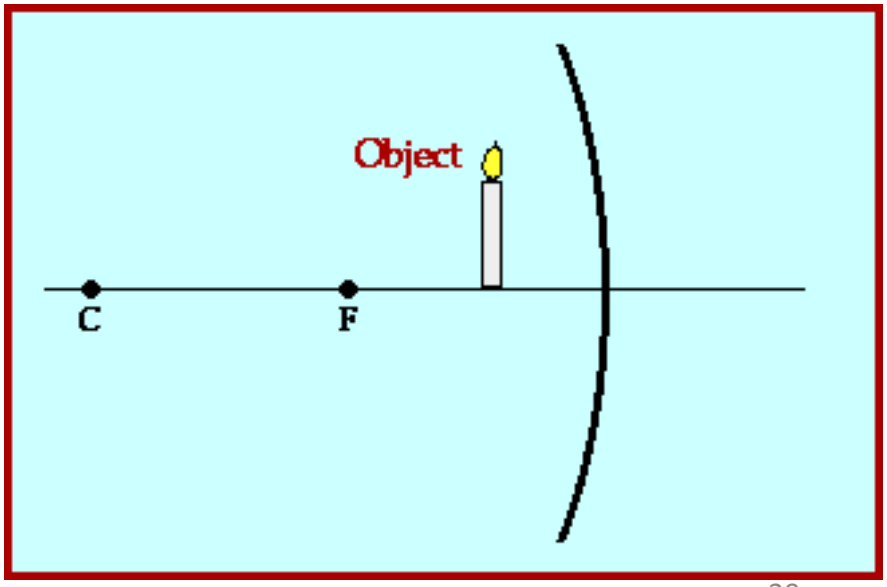


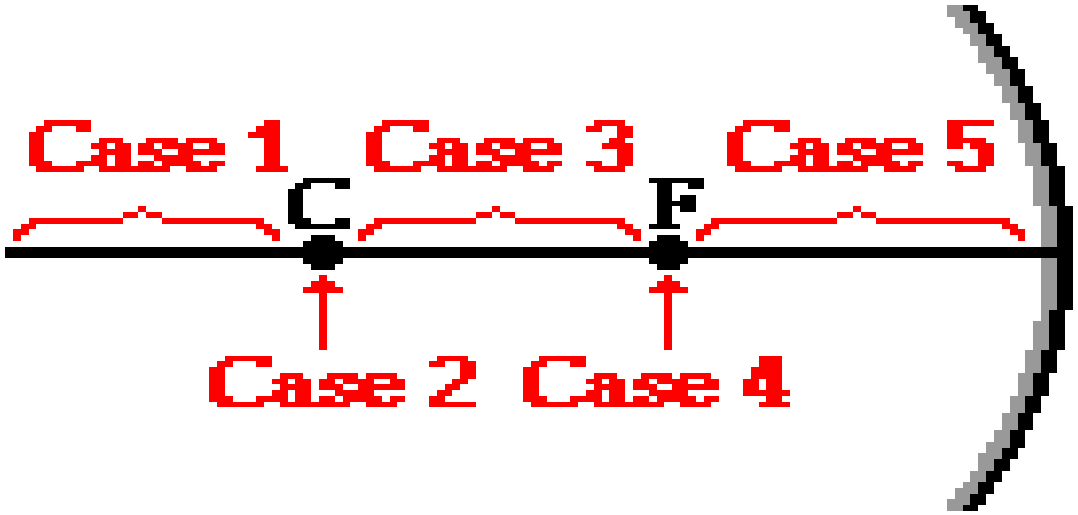
النقطة x هي بؤرة المرآة و تبعد مسافة f عنها و النقطة Y هي مركز تكورها و تبعد مسافة r عنها

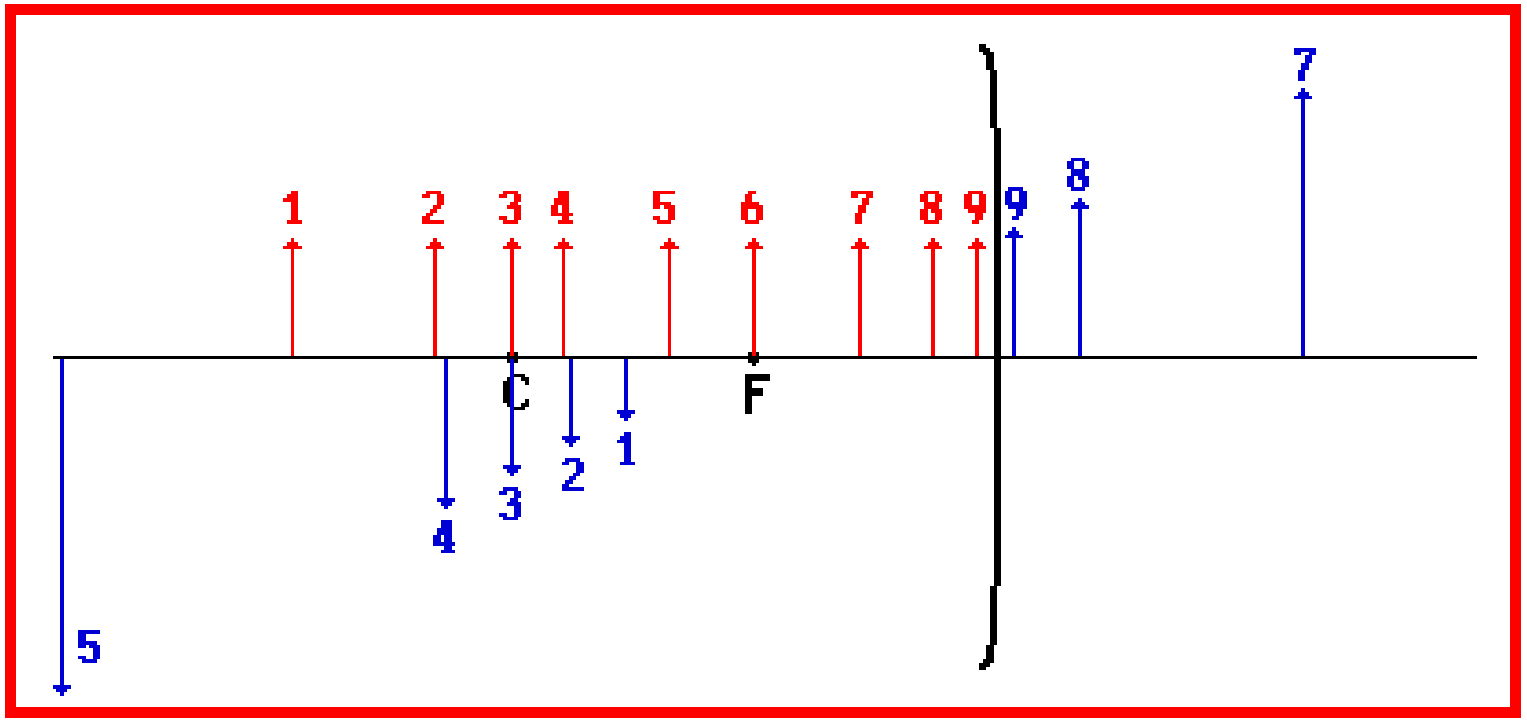

Object
C
F


Object
C
F


Object
C
F


Object
C
F


Case 1
Case 3
Case 5
C
F
Case 2
Case 4


1
2
3
4
5
6
7
8
9
9
8
7
C
F
5
4
3
2
1

رقم الشكل	موضع الجسم بالنسبة للمرآه	موضع الصورة بالنسبة للمرآه	صفات الصورة المُتكوّنة
1	على بُعد أكبر من r.	بين البؤرة و مركز التكوّر.	حقيقية- مقلوبة- مُصغّرة.
2	على بُعد r.	على بُعد r.	حقيقية- مقلوبة- مُساوية للجسم.
3	بين البؤرة و مركز التكوّر.	على بُعد أكبر من r.	حقيقية- مقلوبة- مُكبّرة.
4	على بُعد f.	عند ∞.	لا يوجد صورة.
5	على بُعد أقل من f.	خلف المرآه.	تقديرية- مثعتدلة- مُكبّرة.

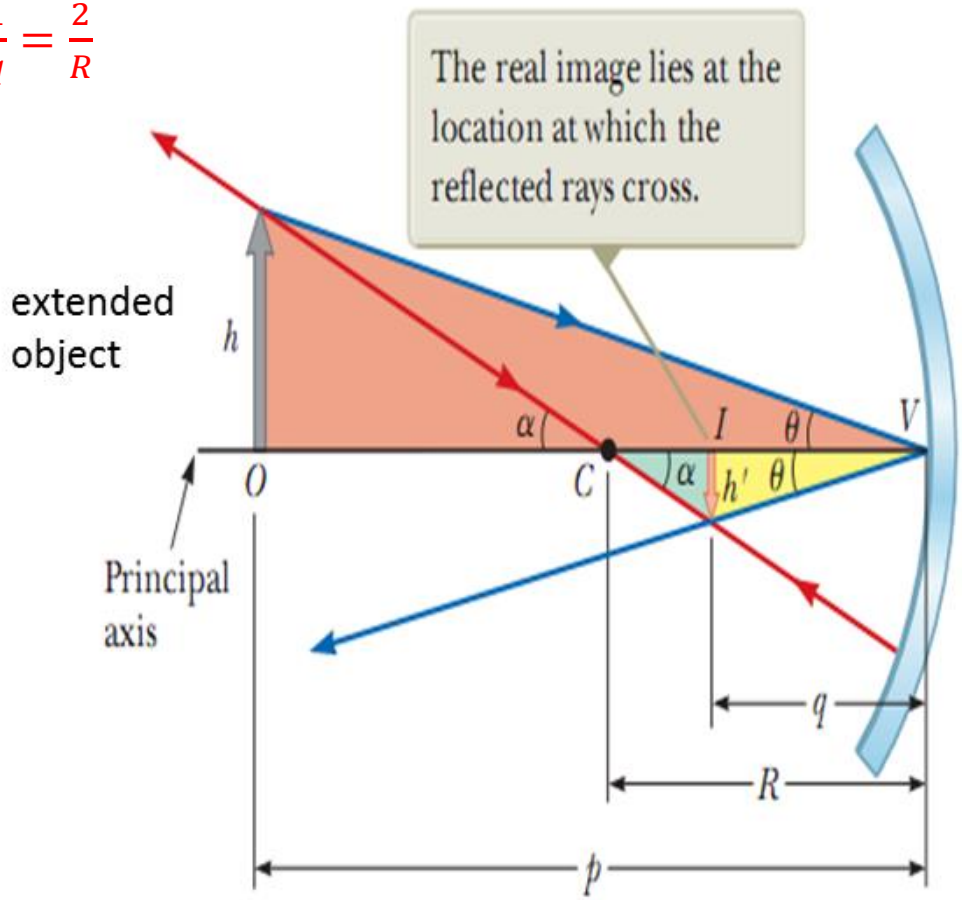
The mirror's equation

Prove $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}$

From the geometry of figure:

$$tan\theta = \frac{h}{p} = -\frac{h\prime}{q}$$

$$tan\alpha = \frac{h}{p-R} = \frac{-h'}{R-q}$$



$$\frac{h'}{h} = -\frac{R-q}{p-R} \rightarrow \frac{R-q}{p-R} = \frac{q}{p}$$

$$Rp - qp = pq - Rq \rightarrow Rq + Rp = 2pq$$

By dividing on *pqR* $\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R}$ This is the mirror's equation

Notice that $M = \frac{h\prime}{h} = -\frac{q}{p}$

For a very far object from the mirror; $p>>R$ or $p\rightarrow\infty$ and hence $1/p\rightarrow 0$.
So $q \approx R/2$

و معنى هذا أن الأشعة القادمة من مصدر بعيد (المتوازية) تتجمع في نقطة تقع في منتصف المسافة بين قطب المرآة و مركز تكورها

$$f = \frac{R}{2}$$

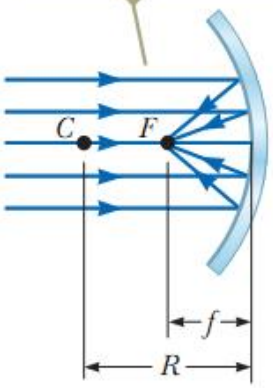
و حيث إن نقطة التجمع هي البؤرة و أن f هو البعد البؤري

In this case of far object, we can rewrite the mirror's equation as:

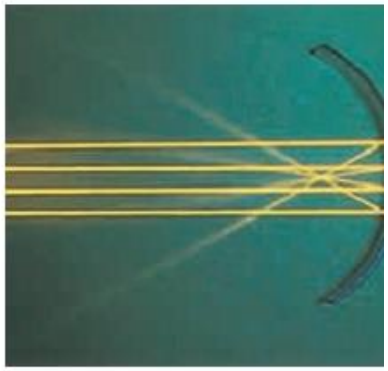
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

The curvature of a mirror determines its focal length and nothing else, as refractive index, can determine the focal length.
That is because the mirror reflects rays from its surface in contrast with lenses where rays pass through the lens's material. Therefore, the focal length of a lens depends on its refractive index as will be seen later.

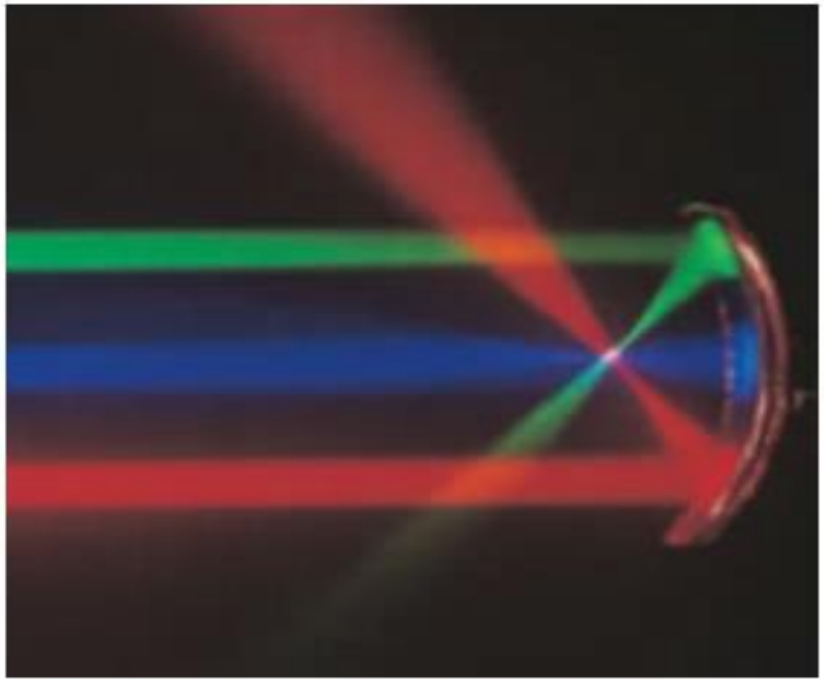
When the object is very far away, the image distance $q \approx R/2 = f$, where f is the focal length of the mirror.



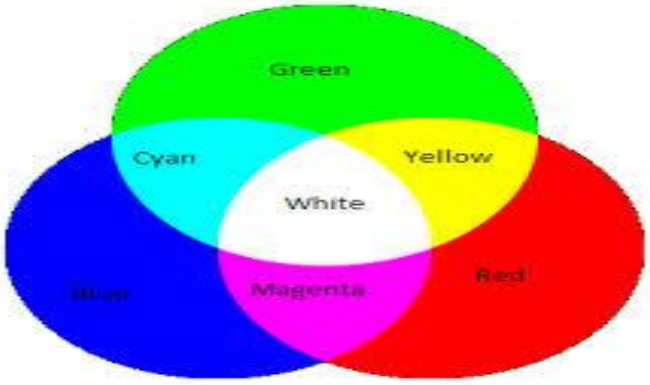
a



b



https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%85%D9%88%D8%B0%D8%AC_%D8%A7%D9%84%D9%84%D9%88%D9%86%D9%8A_%D8%A3%D8%AD%D9%85%D8%B1_%D8%A3%D8%AE%D8%B6%D8%B1_%D8%A3%D8%B2%D8%B1%D9%82



The coloured beams reflected and meet at the same point. Consequently, the intersect point of these three beams is white due to the superposition of the three principal colours; red, green and blue.

(RGB)

A concave mirror can form ***real or virtual image*** depending on the position of the object with respect to the mirror,

while A convex mirror always form ***a virtual image.***

We will see this in the following slides.

Ray optics simulator

https://ricktu288.github.io/ray-optics/simulator/

A large concave mirror is used to focus light from the sun upon a pencil

https://www.youtube.com/watch?v=np8lENrge0Q&feature=youtu.be

تكوّن الصور بالمرايا المُحدّبة

يُمكن تعيين موضع و صفات الصور المتكونة بمرآه مُحدبّة بالإستعانة بمعرفة مسارى الشُعاعين:

- الشُعاع الأول يسقط مُوازياً للمحور الأصلى فينعكس بحيث يمر إمتداده بالبؤرة.
- الشُعاع الثانى يمر إمتداده بمركز التكوّر فيسقط عمودياً على المرآه و ينعكس على نفسه.

و الصورة المُتكوّنة لجسم بمرآه مُحدّبة دائماً تكون تقديرية مُعتدلة مُصغّرة و تقع خلف المرآه على بُعد أقل من f كما بالشكل (I.7).

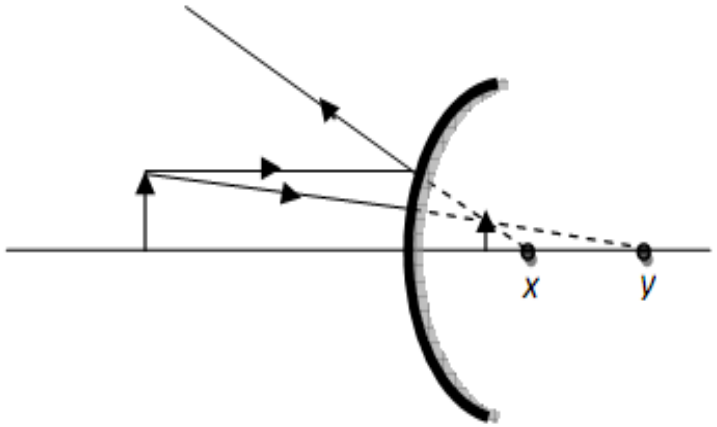
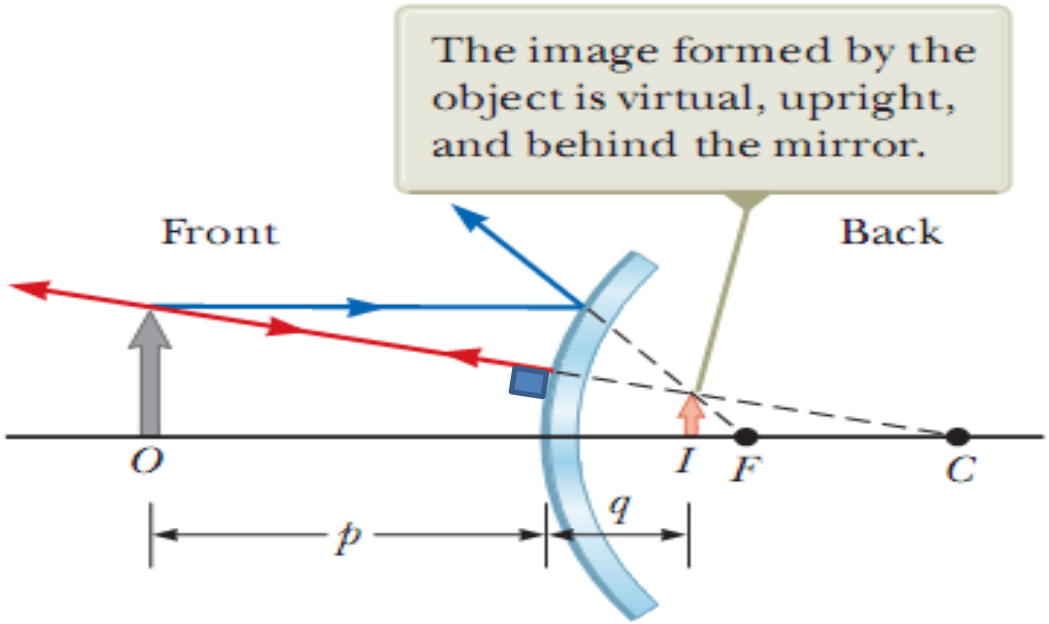


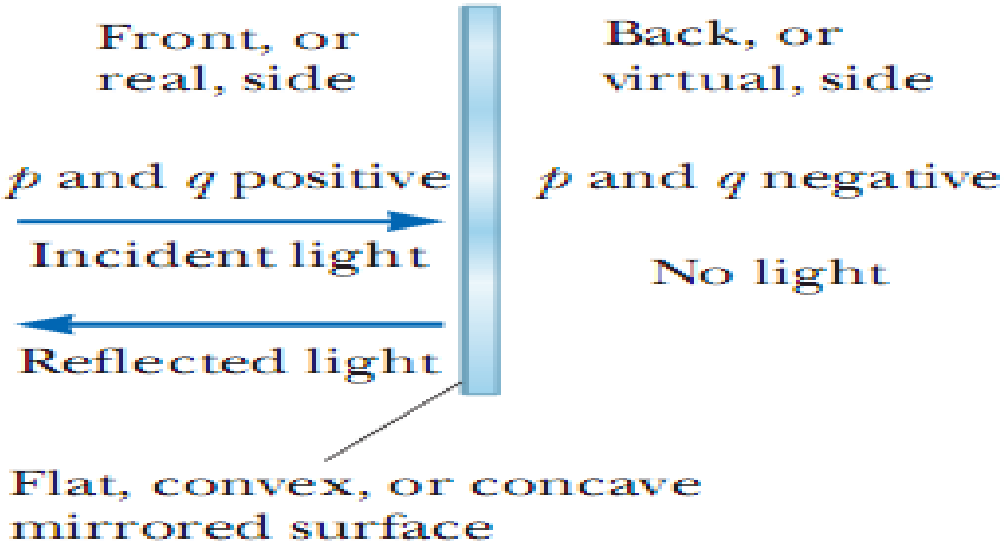
Image formation by a convex (diverging) mirror

For a convex mirror, the incident rays are reflected from the silvered convex surface. All rays from any point, except that lies on the principal axis, of an object diverge after reflection on the convex surface and appear as they were coming from a point behind the mirror. ***So, the image is virtual and it is always upright and smaller than the object***, see figure.

الصورة المتكونة بالمرآة المحدبة ي دائما تقديرية معتدلة مصغرة مما يسمح باستخدامها في تطبيقات كثيرة و منها كمثال المرآة الجانبية للسيارة



The cases of image formation by mirrors and their corresponding sign convention.



Optical quantity	is positive when	is negative when
Object distance (p)	object lies in the front of a mirror (real object).	object lies in the back of a mirror (virtual object).
Image distance (q)	image lies in the front of a mirror (real image).	image lies in the back of a mirror (virtual image).
Image height (h')	image is upright.	image is inverted.
Focal length (f) and radius of curvature (R)	mirror is concave. (front)	mirror is convex. (back)
Lateral magnification (M)	image is upright.	image is inverted.

Example:

An automobile rearview mirror as shown in Figure shows an image of a truck located 10.0 m from the mirror. The focal length of the mirror is - 0.60 m.

(A) Find the position of the image of the truck.

(B) Find the magnification of the image

Solution:

(A)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{-0.60\ \text{m}} - \frac{1}{10.0\ \text{m}}$$

$$q = -0.57\ \text{m}$$

The negative value of q indicates that the image is virtual, or behind the mirror

What would happen if this mirror was a flat or a concave one???

(B)

$$M = -\frac{q}{p} = -\left(\frac{-0.57\ \text{m}}{10.0\ \text{m}}\right) = +0.057$$

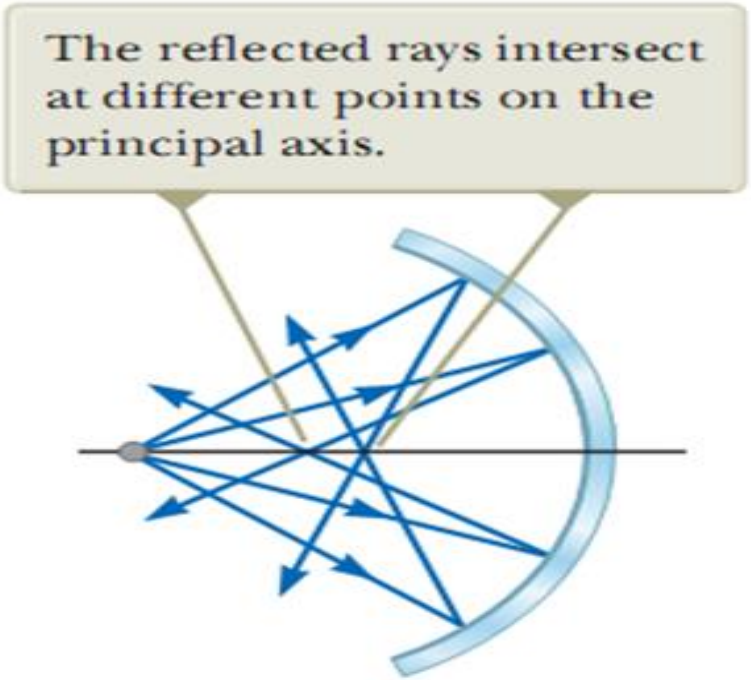
- The image is much smaller than the truck and is upright because M is positive.
- The image is reduced in size, so the truck appears to be farther away than it actually is.
- Because of the image's small size, these mirrors carry the inscription, "***Objects in this mirror are closer than they appear***."
- Look into your rearview mirror or the back side of a shiny spoon to see an image of this type.

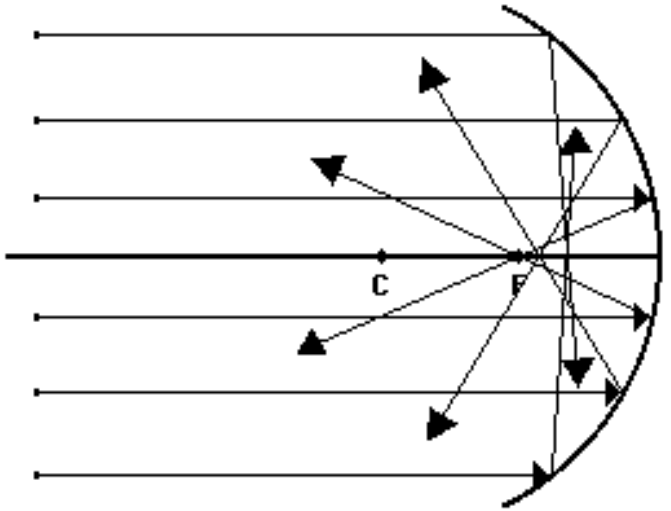
Imperfections: Aberration of mirrors الزيغ في المرايا

إذا كانت الآشعة الخارجة من الجسم لتسقط على سطح المرآة تصنع زوايا صغيرة جداً مع المحور البصري فإنها تسمى paraxial rays.

في هذه الحالة تتجمع الآشعة المنعكسة في نقطة واحدة (البؤرة) كما تعلم.

الآشعة البعيدة عن المحور البصري (أو التي تصنع معه زوايا كبيرة نسبياً) سوف تتجمع في نقط مختلفة (أكثر من بؤرة واحدة). تُسمى هذه الظاهرة بالزيغ الكرُّيّ spherical aberration و تتسبب في ظهور الصورة بشكل مشوّه blurred.



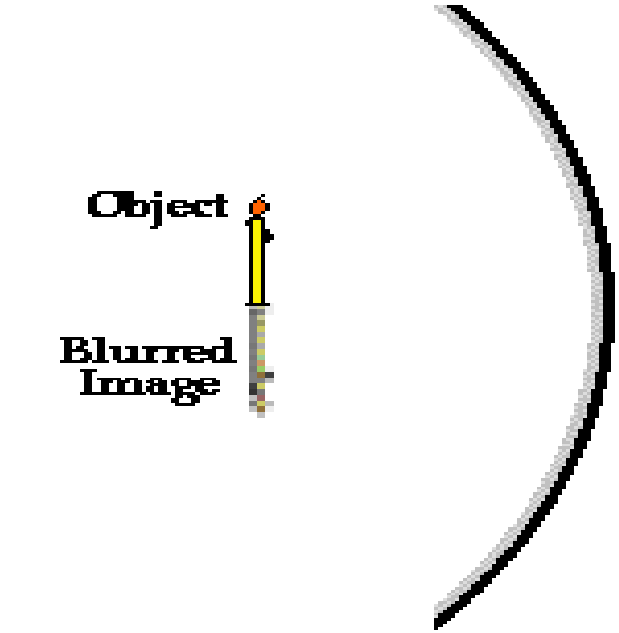


Blurred image

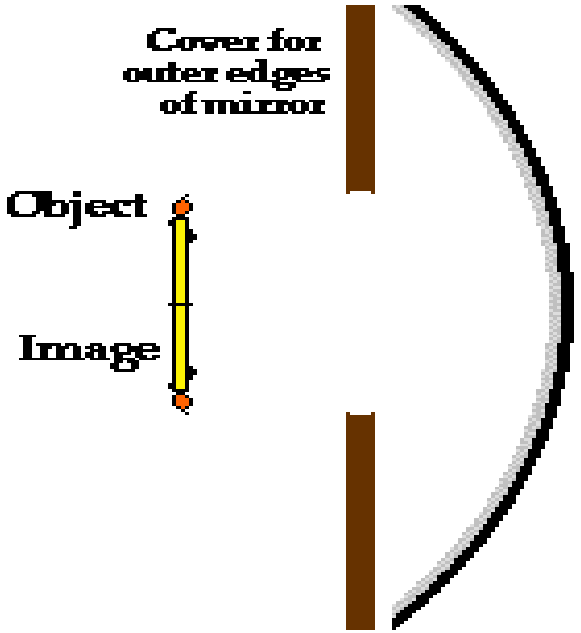
Focused object with a blurred background

يُمكن حل هذه المشكلة باستخدام:

1. باستخدام فتحة متغيرة الاتساع Diaphragm و ذلك للتحكم في الآشعة الساقطة و اختيار الأقرب للمحور البصري فقط بقدر اتساع الكوّة aperture.

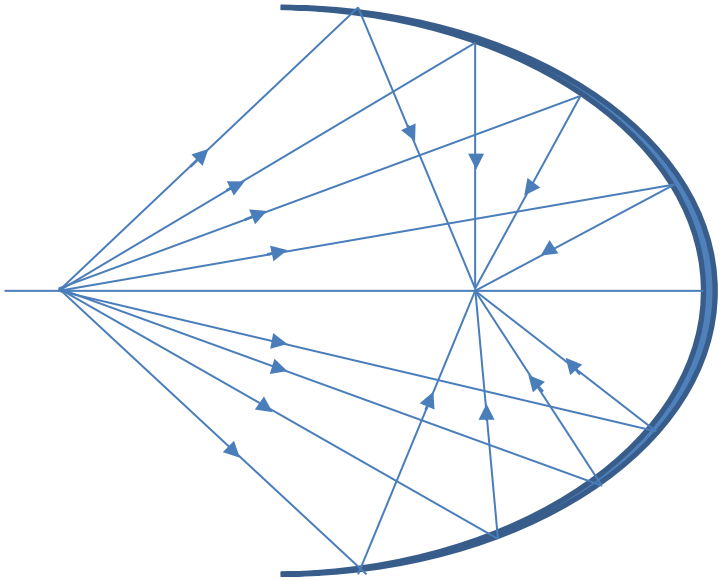


Spherical Aberration results in a blurred image



Spherical Aberration is reduced

2. أو باستبدال المرآة الكرية بمرآة بيضاوية parabolic mirror حيث تقوم بتجميع جميع الآشعة (الساقطة بأي زاوية و التي تبعد أي مسافة عن المحور البصري) في نقطة واحدة فقط.



Parabolic mirrors are used in astronomical telescopes to enhance image quality. However, highly qualified parabolic surfaces are very expensive.

Parabolic Mirror

https://www.youtube.com/watch?v=m3DUBSTqyPc

Parabolic mirrors- science experiment

https://www.youtube.com/watch?v=I1IcR7vZwkA

Spherical & parabolic mirrors
https://www.youtube.com/watch?v=djkBahaEHG4&t=204s

A satellite-dish antenna is a concave reflector for television signals from a satellite in orbit around the Earth. Because the satellite is so far away, the signals are carried by microwaves that are parallel when they arrive at the dish. These waves reflect from the dish and are focused on the receiver.