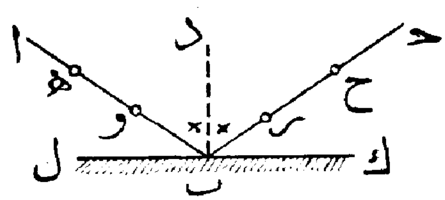
الباب الثانى

الانعكاس عند السطوح المستوية والسطوح الكرية

١٤ – قانونا الانعكاس

رأينا فى الباب السابق أن أشعة الضوء فى وسط كالهواء خطوط مستقيمة ولكن اذا وقعت هذه الخطوط المستقيمة على سطح وسط آخر كماء فى اناء أو كتلة من الزجاج أو صفيحة مصقولة من المعدن فان بعض الضوء يرتد عن السطح وتسير أشعته فى خطوط مستقيمة فى الوسط الأول بعد أن تكون قد غيرت اتجاهها عند وقوعها على السطح ويسمى هذا بوجه عام انعكاساً

واذا فرضنا أن ك ل (شكل ١١) يمثل السطح الأفقى لماء موضوع فى اناء مثلا وفرضنا أن ا ب شعاع يقع على السطح عند ب وانه ينعكس فيسير فى اتجاه ب حـ فان الشعاع ا ب الواقع على السطح



شكل (١١)

يسمى الشعاع الساقط والشعاع ب حـ المرتد عنه يسمى الشعاع المنعكس ونقطة ب وهى موضع تقابل الشعاع الساقط بالسطح تسمى نقطة السقوط والسطح ك ل الذى يحدث عنده الانعكاس يسمى السطح العاكس والعمود ب د المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط يسمى العمود والزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود تسمى زاوية السقوط والزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود تسمى زاوية الانعكاس

وانعكاس الضوء الذى يحدث بهذه الكيفية عند سطح الماء أو الزجاج أو المعادن المصقولة ينقاد لقانونين يعرفان بقانونى الانعكاس ينص القانون الأول منهما على أن الشعاع الساقط والعمود والشعاع المنعكس فى مستوى واحد وينص القانون الثانى على أن زاوية السقوط مساوية زاوية الانعكاس

والقانون الثانى هـذا معروف من قديم الزمان ذكره افلاطون واوقليدس وغيرهما من فلاسفة اليونان وطبقوه فى بعض بحوثهم فى الضوء . أما القانون الأول فأول من نص عليه صريحاً الحسن بن الهيثم فهو من الوجهة التاريخية قد جاء فى أثر الثانى

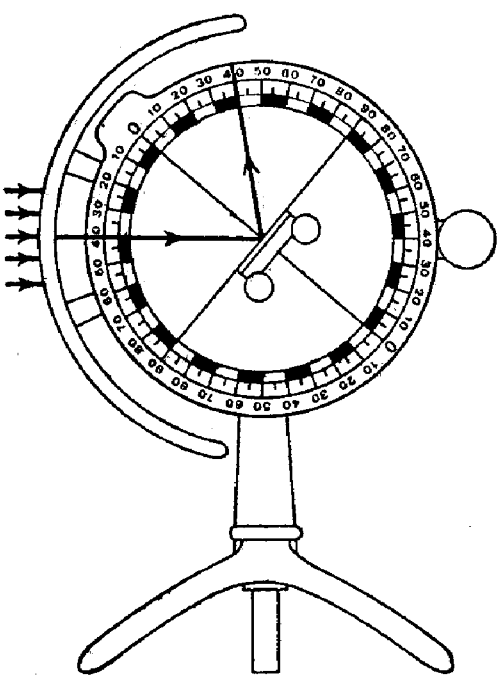
١٥ — الاستدلال عملياً على صحة قانونى الانعكاس

وتوجد تجارب ومشاهدات تبين صحة هذين القانونين . فاذا أدخلت حزمة ضيقة من أشعة الشمس من ثقب ضيق فى غرفة مظلمة بحيث تقع على سطح مرآة مستوية مثلا فتنعكس، أمكن بالمشاهدة (لا سيما اذا عنى بأن يكون فى طريق أشعة الشمس قبل سقوطهـا على المرآة وبعـد انعكاسها عنها هباء مثار أو دخان منتشر) امكن التحقق من صحة القانون الأول

وإذا أخذت مرآة مستوية (ويستحسن أن تكون صفيحة معدنية مستوية مصقولة أو كتلة سميكة من الزجاج على شكل متوازى مستطيلات يتخذ أحد سطوحها سطحاً عاكساً) وثبتت بحيث يكون السطح العاكس رأسياً ،على قطعة من الورق الأبيض قد بسطت فوق لوح أفقى من الخشب وعين السطح العاكس ك ل (شكل ١١) بالقلم الرصاص ثم رشق على الورقة دبوسان رأسيان عند هـ ، و ونظر الى السطح العاكس بحيث تظهر صورتا الدبوسين منطبقتين، ووضع على امتداد خط البصر فى هـذه الحالة دبوسان آخران عند ر ، ح بحيث يظهر كلاهما منطبقاً على صورتى الدبوسين الأولين ، يرى عند توصيل سمى الدبوسين هـ ، و بمستقيم وتوصيل سمى الدبوسين ر ، ح بمستقيم انهما اذا مدا يتقابلان فى نقطة ب على ك ل واذا أقيم العمود على ك ل عند ب وقيست الزاوية بين كل من المستقيمين وهذا العمود وجدت الزاويتان متساويتين ففى هذه التجربة البسيطة يمثل المستقيم الواصل بين سمى الدبوسين الأولين وهو المستقيم ا ب شعاعاً ساقطاو يمثل المستقيم الواصل بين سمى الدبوسين الآخرين وهو المستقيم ب حـ شعاعاً منعكساً فهى تجربة للتحقق من القانون الثانى كما أنه اذا وضعت الدبابيس الأربعة رأسية وكان السطح العاكس أيضـاً رأسياً واختيرت الدبابيس متساوية الأطوال ونظر الى صورتى رأسى الدبوسين الاولين بحيث تريان منطبقتين فان خط البصر ينطبق أيضاً على الخط الأفقى الواصل بين رأسى الدبوسين

الآخرين دالا ذلك على أن الشعاع الساقط الذى يمثله المستقيم الواصل بين رأسى الدبوسين الاولين يمثله بعد الانعكاس المستقيم الواصل بين رأسى الآخرين ويكون المستقيمان فى مستوى أفقى واحد . وواضح ان العمود على مستوى المرآة الرأسية يكون أفقياً وواقعاً فى المستوى الأفقى السابق

وكثيراً ما يستعان بجهاز يسمى القرص الضوئى (١) لبيان القوانين والظواهر الأساسية فى الضوء وتوضيحها . والجهاز يتركب كما بشكل (١٢) من قرص رأسى مدرج قابل للدوران حول محور أفقى مار بمركزه ويحف حول نصف القرص حاجز به فتحة مستطيلة ضيقة افقية (أو عدة فتحات افقية) فاذا ثبتت فى مركز القرص مرآة مستوية وسلطت على الفتحة أشعة متوازية من أشعة الشمس مثلا وعدل المستوى الرأسى للقرص بالنسبة الى اتجاه الأشعة المسلطة على الفتحة فان مسير الشعاع أو بالأحرى الحزمة الضيقة سواء الساقطة على المرآة أو المنعكسة عنها يتمثل على سطح القرص كخط مستقيم من نور فيسهل التحقق من أن زاويتى السقوط والانعكاس متساويتان . وادارة القرص ومعه المرآة حول المحور الافقى المار بمركزه يغير من زاوية سقوط الشعاع على سطح المرآة ويخول هذا التحقق من تساوى الزاويتين فى حالات مختلفة



(شكل ١٢)

وتوجد تجارب أخرى يمكن بها تحقيق قانونى الانعكاس بدقة أكبر من الدقة المتيسرة فى التجارب السابقة . ولكن يستعان فيها بأجهزة ضوئية لا محل لشرحها أو ذكرها هنا . وأن أكبر دليل على صحة هذين القانونين ان كل ما يستنبط منهما يتفق ونتائج المشاهدات والتجارب العملية

١٦ — الانعكاس عند السطوح الغير المصقولة

والانعكاس فيما تقدم يحدث عند السطوح المصقولة ولكن اذا وقعت أشعة الضوء على

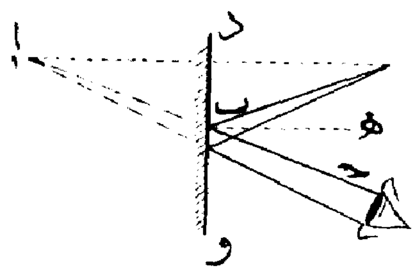
(١) Optical Disc

حائط أبيض أو صحيفة بيضاء من الورق أو ما شابه ذلك فهى تنعكس انعكاساً يظن أول وهلة أنه غير منقاد للقانونين السابقين لأنه يحدث فى جميع الجهات ونسميه تمييزاً له عن الانعكاس السابق انتثاراً . والانتثار هذا ناشئ عن خشونة فى السطح فاذا كانت أجزاء السطح ليست جميعها فى مستوى واحد فان الاشعة المتوازية مثلا الواقعة على الاجزاء المختلفة ، تنعكس فى اتجاهات مختلفة ، فلا تتكون من الاشعة المنعكسة حزمة متوازية يكون ميلها على العمود المقام على السطح كميل الحزمة الساقطة عليه

١٧ ــ موضع الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المستوى

وكيفية حدوث صور المرئيات فى السطوح المصقولة أن الاشعة الصادرة من أية نقطة من الجسم عند سقوطها على السطح تنعكس طبقاً للقانونين فاذا وقعت الاشعة المنعكسة على العين تراءى للرائى أنها صادرة من نقطة خلف السطح هى موضع تقابل امتدادات الاشعة المنعكسة .

ويمكن الحصول على موضع الصورة التى تحدث لنقطة مضيئة موضوعة أمام سطح عاكس ببرهان هندسى مبنى على قانونى الانعكاس. فاذا فرضنا أن نقطة ا (شكل ١٣) هى النقطة المضيئة وأن د و يمثل مقطع السطح العاكس ، نسقط من ا العمود ا د على السطح ونمده



(شكل ١٣)

على استقامته الى نقطة ا١ بحيث يكون د ا١ = د ا فتكون نقطة ا١ هى موضع صورة ا

ولاثبات هذا نرسم من نقطة ا١ أى مستقيم مثل ا١ ب حـ يقطع السطح العاكس فى نقطة ب ونرسم من ب العمود ب هـ على السطح ونصل نقطتى ب ، ا

فالمثلثان ا ب د ، ا١ ب د متطابقان

∴ زاوية د ا ب = زاوية د ا١ ب

وبما أن المستقيم ا ا١ موازٍ للمستقيم ب هـ

فان زاوية د ا ب = زاوية ا ب هـ

و زاوية د $ا_{١}$ ب = زاوية هـ ب حـ

∴ « ا ب هـ = « هـ ب حـ

وهما فى مستوى واحد

∴ ا ب شعاع ساقط و ب حـ الشعاع المنعكس

وهذا برهان عام ينطبق كيفما رسم المستقيم $ا_{١}$ ب حـ ومنه يتضح أن جميع الأشعة المنعكسة مثل ب حـ تتلاقى امتداداتها فى نقطة $ا_{١}$ ويتراءى للرائى أنها صادرة منها فتكون هى اذن صورة النقطة ا

ويتبين من هذا أن صورة النقطة تقع على امتداد العمود الواقع من هذه النقطة على السطح وعلى بعد من السطح يساوى بعد هذه النقطة عنه

١٨ — ايجاد موضع الصورة بطريقة عملية

ويمكن التحقق عملياً من النتيجة السابقة بتجارب بسيطة منها

(١) أن يوضع أمام سطح رأسى عاكس موضوع على قطعة من الورق مبسوطة فوق لوح أفقى من الخشب دبوس ا يرشق فى وضع رأسى على الورقة . ويعتبر الجسم الذى تتكون له صورة خلف السطح . ثم ينظر الى صورته ويحدد خط البصر بدبوسين يوضعان بحيث يكونان هما والصورة على استقامة واحدة . ويكرر هذا مثنى وثلاث . فاذا وصلت سمام الدبابيس التى يتعين بها خطوط البصر بخطوط مستقيمة ومدت على استقامتها تلاقت هذه الخطوط فى نقطة خلف السطح تكون هى موضع الصورة الحادثة للدبوس ا . ويمكن بالقياس التحقق من النتيجة المذكورة

(٢) ان تطبق طريقة انطباق المواضع وهى طريقة سهلة مبنية على أن المواضع الظاهرية للمرئيات يختلف بعضها بالنسبة الى الآخر تبعاً لاختلاف موضع النظر اليها فاذا نظر مثلا الى مرئيين بحيث كان خط البصر على استقامة المستقيم الواصل بينهما رؤى المرئيان منطبقين ولكن اذا حيد قليلا عن هذه الاستقامة انفصل المرئيان أحدهما عن الآخر وظهر البعيد منهما كأنه قد تحرك فى

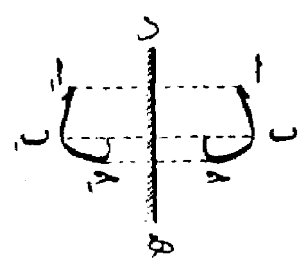
الجهة التى تحركت اليها العين واذا كان المرئيان منطبقين حقيقة فهما لا ينفكان يظهران كذلك مهما تحركت العين

وتطبق هذه الطريقة فى كثير من التجارب الضوئية لايجاد مواضع الصور وسنعبر عنها هنا بطريقة انطباق المواضع (١)

ولتطبيقهافيما نحن بصدده يوضع السطح العاكس كما فى التجربة السابقة رأسياً على قطعة افقية من الورق وليكن ارتفاعه صغيراً ثم يوضع أمامه دبوس ا وينظر الى صورته ويؤتى فى خلف السطح العاكس بدبوس طويل يتسنى من الموضع الذى ترى العين منه صورة ا رؤية عاليه ناتئاً فوق السطح العاكس، ويغير موضع هذا الدبوس حتى يرى هو والصورة الحادثة للدبوس ا منطبقين ويظلان منطبقين مهما تغير موضع العين . فاذا حدث ذلك كان موضع الدبوس الطويل منطبقاً على موضع تلك الصورة

١٩ — الانقلاب الجانبى للصور الحادثة بالانعكاس عند السطوح المستوية

والجسم الموضوع أمام المرآة مثلا تتكون لكل نقطة من سطحه صورة فى المرآة وتتكون من صور هذه النقط صورة الجسم كله . فاذا فرضنا أن الجسم ا ب ح (شكل ١٤) على شكل حرف ل قد وضع رأسياً امام المرآة الراسية د ه ووجدت مواضع صور الأجزاء المختلفة التى يتكون منها الجسم اتضح أن صورتى ا ، ب مثلا وهما ا١ ، ب١ تكونان أبعد عن السطح من طورة ح مثلا وهى ح١ واذن تظهر الصورة ا١ ب١ ح١ منقلبة لا رأساً على عقب بحيث يكون عاليها مثلا صورة سافل الجسم بل جنباً على جنب بحيث يكون الجانب الأيمن مثلا من الصورة مقابلا الجانب الايسر من الجسم . ويعبر عن هذا الانقلاب بالانقلاب الجانبى (٢)



(شكل ١٤)

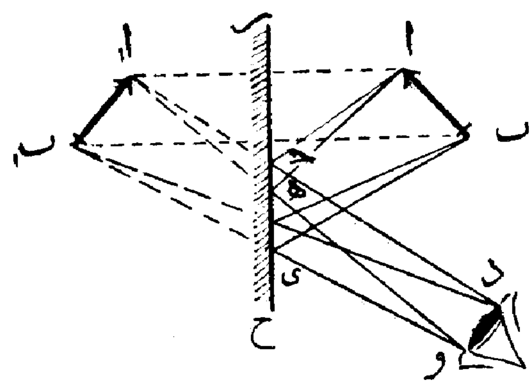
---

(١) تسمى هذه الطريقة بطريقة الـ Parallax

(٢) Lateral Inversion

٢٠— رسم مسير الاشعة التى ترى العين بها صورة حادثة بالانعكاس

ولتوضيح مسير الأشعة التى ترى بها العين صورة حادثة فى مرآة مثلا لجسم امامها يمكن أولا ايجاد موضع الصورة بالطريقة الهندسية فاذا فرضنا ان المستقيم ا ب (شكل ١٥) يمثل الجسم ٢رح يمثل السطح العاكس نعين موضع ا١ وهى صورة ا وموضع ب١ وهى صورة ب بالطريقة الهندسية فيكون ا١ ب١ صورة ا ب فالناظر الى الصورة ا١ ب١ يتراءى له ان الاشعة صادرة منها أى يتراءى له أن مخروط الاشعة التى ترى العين بها ا١ مثلا رأسه عند هذه النقطة فى حين أن هذه

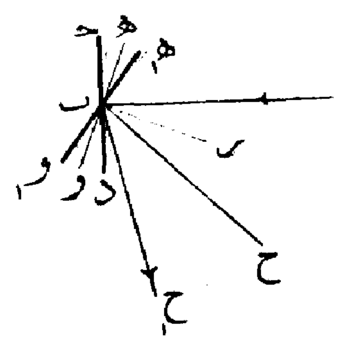


(شكل ١٥)

الاشعة وان انعكست كأنها صادرة من هذه النقطة فهى قبل وقوعها على السطح العاكس كانت صادرة من نقطة ا . ولذلك اذا رسم المخروط ا١ د و ثم وصلت نقط تقابله والسطح بالنقطة ا فان الحزمة ا حـ هـ تكون الحزمة الساقطة . ولذلك تمثل الخطوط ا جـ د ٢ ا هـ و حدود مخروط الاشعة التى ترى العين بها صورة ا وبالمثل يمكن رسم مخروط الأشعة التى ترى العين بها صورة ب أو صورة أى نقطة أخرى من الجسم . والحزمة المحدودة بالمستقيمات ا حـ ٦ حـ د ٦ ب ى ٢ ى وتمثل فى مستوى الورقة الأشعة التى ترى العين بها صورة الجسم كله

وهذه الطريقة فى توضيح مسير الأشعة أفضل كثيراً من حيث السهولة من الابتداء برسم أشعة تسقط من النقط المختلفة من الجسم وتنعكس عند السطح العاكس بحيث تكون زوايا السقوط مساوية زوايا الانعكاس

٢١ — تأثير انحراف السطح العاكس فى سير الشعاع المنعكس



(شكل ١٦)

إذا فرضنا أن ا ب (شكل ١٦) شعاع يسقط على السطح حـ د عمودياً عليه فهو ينعكس فى اتجاه ب ا ولكن إذا دار السطح العاكس حول محور مار بنقطة ب عمودياً على مستوى الورقة وأخذ الوضع ه و، على فرض أن الشعاع ا ب لم يتغير مسيره ورسمنا العمود ب ء على ه و فان زاوية ا ب ء وهى زاوية السقوط على ه و تساوى زاوية حـ ب ه وهى التى دار السطح خلالها واذن يعمل الشعاع المنعكس ب ح مع المستقيم ا ب زاوية هى ا ب ح وتساوى ضعف الزاوية التى دار السطح خلالها وهى زاوية حـ ب ه

وبالمثل نرى أنه اذا أخذ السطح العاكس حـ د الوضع ه١ و١ فان الشعاع المنعكس عنه فى هذا الوضع وهو ب ح١ يعمل مع ا ب زاوية هى ا ب ح١ وتساوى ضعف الزاوية التى دار السطح خلالها وهى زاوية حـ ب ه١

فتكون ‍ > ا ب ح١ — > ا ب ح = ٢ (> حـ ب ه١ — > حـ ب ه)

= ٢ > ه ب ه١

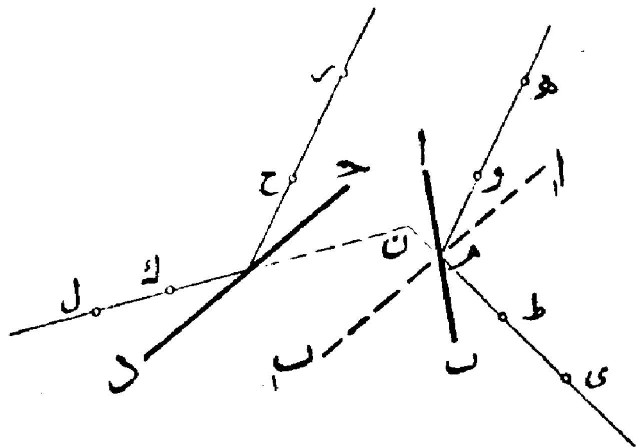
= > ح ب ح١

ومنه يتضح أنه إذا انحرف السطح العاكس من الوضع ه و إلى الوضع ه١ و١ ينحرف الشعاع المنعكس من الوضع ب ح إلى الوضع ب ح١ وتكون زاوية انحرافه ضعف زاوية انحراف السطح

وهذه النتيجة كثيراً ما تطبق فى أجهزة يحدث فيها انحراف صغير يراد قياسه أو الاستدلال عليه كالجلفانومترات مثلا

٢٢ — ايجاد الزاوية الواقعة بين سطحين مستويين عاكسين بطريقة ضوئية

وتطبيقاً لقانونى الانعكاس نذكر هنا مثالا يطبق فيه القانونان لايجاد الزاوية الواقعة بين سطحين عاكسين



(شكل ١٧)

لنفرض أن السطحين العاكسين هما ا ب ، حـ د (شكل ١٧) وليكونا مثلا السطحين المستطيلين لمنشور ثلاثى قائم مصنوع من الزجاج وموضوع وقاعدته الثلاثية على قطعة من الورق الأبيض مبسوطة على لوح أفقى من الخشب ولنفرض أنه يراد ايجاد الزاوية المحصورة بين هذين الوجهين

يرسم على سطح الورقة مستقيمان متوازيان مثل هـ و ، ح ح

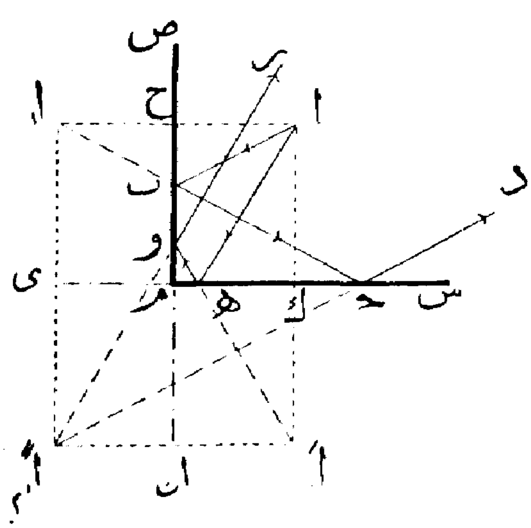
ويوضع المنشور بحيث تقع الزاوية المراد ايجادها بين هذين المستقيمين كما هو مبين بالشكل ثم يرشق على سطح الورقة دبوسان رأسيان فى نقطتين مثل هـ ، و على المستقيم الأول وينظر إلى السطح ا ب بحيث ترى صورتاهما منطبقتين ويحدد خط البصر بدبوسين عند ط ، ى فيكون المستقيم الواصل بين سميهما وهو ط ى بمثابة الشعاع المنعكس إذا اعتبر المستقيم هـ و الواصل بين سمى الأولين الشعاع الساقط

ثم يكرر هذا بالنسبة إلى المستقيم ح ح فيوضع دبوسان رأسيان فى نقطتى ح ، ح عليه وينظر نحو السطح حـ د بحيث ترى صورتاهما منطبقتين ويحدد خط البصر بدبوسين عند ك ، ل فاذا مد المستقيمان ل ك ، ى ط حتى يتقابلا فى نقطة ن كانت زاوية ل ن ى ضعف الزاوية المحصورة بين السطحين ب ا ، د ج وهى التى يراد ايجادها

ولعل أبسط برهان لاثبات ذلك أن نفرض أن السطح ا ب قد أدير حول محور عمودى على مستوى الورقة عند م (وهى نقطة سقوط الشعاع هـ و على السطح) فى اتجاه حركة عقربى الساعة حتى يتخذ الوضع ا، ب، ويصير موازياً للسطح حـ د فالشعاع المنعكس ط ى يدور فى أثناء ذلك بزاوية تساوى ضعف الزاوية التى يدور خلالها السطح أى ضعف الزاوية بين ا ب ، حـ د واذا اتخذ السطح الوضع ا، ب، الموازى للسطح حـ د فنظراً لأن الشعاعين هـ و ، ح ح متوازيان

ويسقطان فى هذه الحالة على سطحين متوازيين فان الشعاعين المنعكسين يكونان متوازيين واذن يكون الشعاع ك ل موازياً للشعاع المنعكس عند السطح المدار إذا اتخذ الوضع ا ب١ واذن تكون الزاوية بين المستقيمين ل ك م ى ط مساوية ضعف الزاوية التى يدور خلالها السطح

٢٣ — تعدد الصور بتعدد الانعكاسات — الانعكاس عند السطحين المتعامدين



(شكل ١٨)

اذا فرضنا مثلا أن جسما وليكن نقطة مضيئة مثل ا (شكل ١٨) قد وضع بين سطحين عاكسين متعامدين مـ س ، مـ ص حدث عن انعكاس الضوء مرة واحدة عن السطح مـ ص الصورة ا١ وموضعها على امتداد العمود ا ح الواقع من ا على هذا السطح بحيث يكون ح ا١ = ح ا . ولكن بعض الاشعة المنعكسة عند هذا السطح وهى التى تكون نقط سقوطها تحت العمود ا ح فى الشكل كالشعاع ب حـ مثلا قد تقع على السطح مـ س فتنعكس كما ينعكس ب حـ فى استقامة حـ د فيتكون بهذا الانعكاس صورة ترى على استقامة د حـ . ولما كان الشعاع ب حـ مثلا يقع على السطح مـ س كأنه آت من ا١ امكن اعتبار الصورة ا١ كأنها جسم موضوع أمام السطح مـ س تتكون له بالانعكاس عن هذا السطح الصورة ا٢ ويكون موضع هذه الصورة على امتداد العمود ا١ ى الواقع من ا١ على امتداد س مـ بحيث يكون ا١ ى = ا٢ ى وتكون هذه هى الصورة التى ترى عند انعكاس الأشعة المنعكسة عن السطح مـ ص مرة أخرى عند السطح مـ س . وتكون جميع هذه الأشعة بعد انعكاسها الثانى كأنها صادرة من ا٢ . ولما كانت ا٢ خلف السطح مـ ص فهذه الأشعة لا يمكن أن تقع بعد ذلك على هذا السطح

وفى الوقت نفسه تتكون للجسم ا صورة بالانعكاس عن السطح مـ س وهى اَ وموضعها

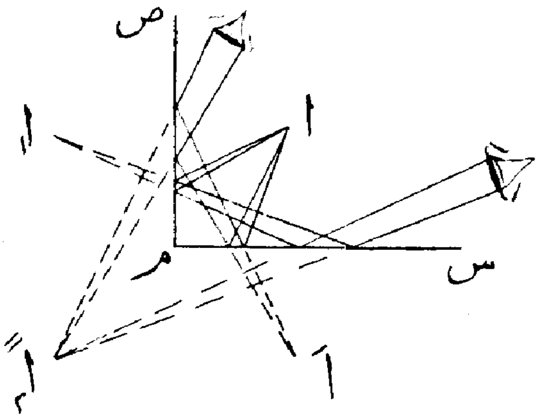
على متداد العمود ا ك الواقع على هذا السطح بحيث يكون ك ا = ك اَ ولكن بعض الأشعة المنعكسة عن هذا السطح وهى التى تقع نقط سقوطها على يسار نقطة ك كالشعاع هـ و مثلا قد تقع على السطح مـ ص فتنعكس عنه كما ينعكس الشعاع هـ و فى اتجاه و ر ، ويتكون بهذا الانعكاس صورة ترى على استقامة ر و . وفى هذه الحالة أيضاً يمكن اعتبار اَ جسما أمام المرآة مـ ص تتكون له الصورة اً على امتداد العمود اَ ل الواقع من اَ على امتداد ص مـ بحيث يكون ل اً = ل اَ وتكون هذه الصورة التى ترى عند انعكاس الاشعة المنعكسة عن السطح مـ س مرة أخرى عند مـ ص . ولذلك يتضح أن موقع اً خلف السطح مـ س فلا يمكن أن تقع هذه الأشعة بعد انعكاسها الثانى على السطح مـ س .

ويتضح من العمليات الهندسية لايجاد مواضع هذه الصور ان موضعى ا٢ ، اً منطبقان كما هو مبين بالشكل ويكون عدد الصور المتكونة ثلاثاً ويمكن بتطابق المثلثات الحادثة بتوصيل مـ بالنقط ا ، ا١ ، ا٢ ، اَ بيان أن الجسم ا والصور الثلاث تقع فى الشكل على محيط دائرة مركزها نقطة مـ ونصف قطرها مـ ا

٢٤ — رسم مسير الأشعة التى ترى العين بها الصور الحادثة فى حالة السطحين المتعامدين

الصورتان الحادثتان عن انعكاس واحد وهما ا١ ، اَ (شكل ١٨) يمكن رسم مخروط الأشعة التى ترى العين بها الواحدة منهما كما فى حالة السطح المفرد وذلك بأن يعين بالطريقة الهندسية موضع الصورة ثم توجه العين الى السطح ويرسم مخروط الأشعة كانه صادر من الصورة ثم توصل نقط تقابل هذا المخروط والسطح العاكس بالنقطة ا

ولرسم مخروط الأشعة التى ترى العين بها الصورة الحادثة عن انعكاسين ، يعين أولا بالطريقة الهندسية موضع الصورة فاذا راعينا الحالة التى ينعكس فيها الضوء أولا عند السطح مـ ص فانعكاسه يكون الصورة ا١ وتعتبر هذه جسما بالنسبة الى السطح مـ س بحيث اذا وقع الضوء الآتى من قبله على هـذا السطح انعكس كأنه آت من ا٢ ويعين موضع ا٢ باعتبار أنه صورة ا١ فلرؤية ا٢ توجه العين نحو السطح مـ س ويرسم مخروط الأشعة كأنه صادر من ا٢ ثم توصل



(شكل ١٩)

نقط تقاطعه والسطح مـ س بنقطة ا فيتكون مخروط توصل نقط تقاطعه والسطح مـ ص بنقطة ا فيكون مخروط الأشعة التى ترى العين بها الصورة ا هو الذى رأسه عند ا ويقع على السطح مـ ص ثم ينعكس عنه الى السطح مـ س ثم ينعكس عن هذا الى العين كما هو مبين بشكل (١٩)

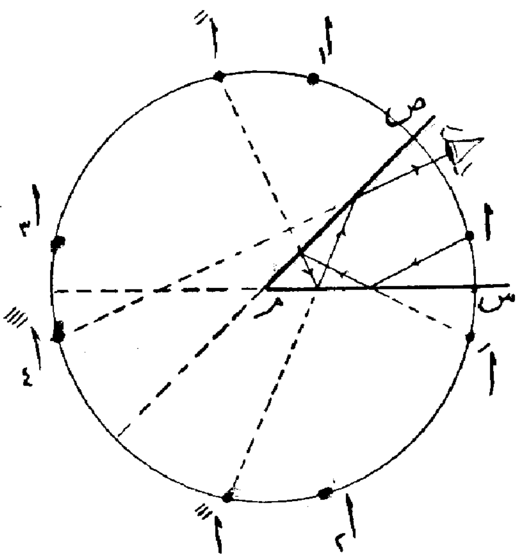
أما اذا راعينا الحالة التى ينعكس فيها الضوء أولا عن السطح مـ س فانعكاسه هـذا يكون الصورة اَ وتعتبر هـذه جسما بالنسبة الى السطح مـ ص وتتكون بانعكاس الضوء الآتى من قبله ، بانعكاسه عند السطح مـ ص الصورة اً فيعين موضع اً باعتبارها صورة اَ وتوجه العين نحو السطح مـ ص ويرسم مخروط الأشعة كأنه صادر من اً ثم توصل نقطة تقاطعه والسطح مـ ص بنقطة اَ فيتكون مخروط توصل نقط تقاطعه والسطح مـ س بنقطة ا فيكون مخروط الاشعة التى ترى العين بها الصورة اً هو الذى رأسه عند ا ويقع أولا على السطح مـ س ثم ينعكس عنه نحو السطح مـ ص وينعكس عن هذا الى العين كما هو مبين بالشكل

٢٥ — الانعكاس عند سطحين الزاوية بينهما ٤٥°

وبالكيفية السابقة يمكن ايجاد مواضع الصور التى تتكون فى حالات أخرى ويمكن حصر عددها ورسم مسير الاشعة التى تراها العين بها وسنراعى هنا زيادة فى التوضيح حالة سطحين بينهما زاوية قدرها ٤٥°

ولما كانت الصور تقع على محيط دائرة ويقع الجسم أيضاً على محيطها نفرض أن ا (شكل ٢٠) نقطة مضيئة نعتبرها الجسم وان السطحين العاكسين هما مـ س ، مـ ص ونرسم الدائرة التى مركزها مـ ونصف قطرها مـ ا وتقع الصور على محيطها ولنفرض انها تقطع السطحين فى نقطتى س ، ص ولنبحث أولا فى سلسلة الصور التى تتكون مبتدئة بصورة ا الحادثة بالانعكاس عند أحد السطحين ثم صورة هذه الصورة وصورة صورتها وهكذا ولنبتدىء بالصورة ا الحادثة

بالانعكاس عن السطح مـ ص فلايجاد موضعها يمكن أن نركز فى نقطة ص ونقطع على محيط الدائرة القوس ص ا١ مساويا القوس ص ا .



(شكل ٢٠)

ولايجاد صورة ا١ الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ س نركز فى نقطة س ونقطع القوس س ا٢ مساوياً س ا١ ولايجاد صورة ا٢ الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ ص نركز فى نقطة ص ونقطع القوس ص ا٣ مساوياً ص ا٢ ولايجاد صورة ا٣ الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ س نركز فى نقطة س ونقطع القوس س ا٤ مساوياً س ا٣ وهنا يتبين أن ا٤ تقع خلف السطح مـ ص فلا تحدث لها صورة بالانعكاس عنده . فتنتهى بالصورة ا٤ السلسلة الاولى

وبالمثل يمكن ايجاد سلسلة الصور التى تتكون مبتدئة بصورة ا الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ س وهى ا′. ولايجاد موضعها نركز فى نقطة س ونقطع القوس س ا′ مساوياً س ا ولايجاد صورة ا′ الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ ص نركز عند ص ونقطع القوس ص ا″ مساويا ص ا′ وهكذا حيث يلاحظ هنا ايضا ان هذه السلسلة تنتهى بالصورة ا⁗ وهذه تنطبق على الصورة ا٤ ويتضح من الشكل ان كلا من السلسلتين تنتهيان بالصورة التى تقع فى الزاوية الحادثة بين امتداد ص مـ وامتداد س مـ

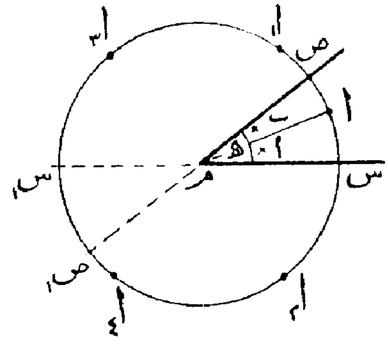
ويلاحظ أن الدلالة على الصور بالكيفية التى اتبعناها هنا و بالنظام السابق يجعل الرقم الناعت للصورة أو عدد الشرطات المميزة لها يدل فى الحالتين على عدد الانعكاسات التى أدت الى تكون الصورة فمثلا الصورة ا‴ تحدث بثلاثة انعكاسات أولها عند السطح مـ س ، والصورة ا٤ تحدث بأربعة انعكاسات اولها عند السطح مـ ص

ويتضح من الشكل أن الصور فى كل سلسلة عددها أربع ولكن نظراً لانطباق الصورة النهائية فى احدى السلسلتين على نظيرتها فى الاخرى يصير عدد الصور كلها سبعاً

ومبين بالشكل مسير الشعاع الذى هو محور مخروط الاشعة التى ترى العين بها الصورة ا٦

ويمكن بمثل ما تقدم بيان أنه اذا كانت الزاوية بين السطحين العاكسين ٦٠° يكون عدد الصور خمساً واذا كانت ٣٠° يكون عددها احد عشر وكذلك يمكن الاستدلال على أنه اذا كانت الزاوية بين السطحين تقسم ط بدون باق فان عدد الصور يساوى خارج قسمة ٢ ط على هذه الزاوية منقوصا منه واحد

٢٦ — الانعكاس عند سطحين بينهما زاوية ما



(شكل ٢١)

تفرض أن السطحين هما مـ س ، مـ ص (شكل٢١) ولنرمز للزاوية بينهما بالحرف هـ ولنفرض أن نقطة ا تمثل الجسم ولنرمز للزاوية ا مـ س بالحرف ا وللزاوية ا مـ ص بالحرف ب ولنرسم الدائرة التى مركزها مـ وتقع على محيطها الصور ولنفرض أنها تقطع السطحين فى نقطتى س ، ص ولنعين على هـذه الدائرة سلسلة الصور التى تبتدىء بالصورة ا١ الحادثة بانعكاس واحد عند السطح مـ ص فيكون

زاوية ا مـ ا١ = ٢ ب

وبما أن القوس س ا٢ = القوس س ا١ وزاوية س م ا١ = هـ + ب تكون

زاوية س مـ ا٢ = هـ + ب

واذن زاوية ا مـ ا٢ = هـ + ب + ا = ٢ هـ

كذلك بما أن القوس ص ا٣ = القوس ص ا٢

وزاوية ص مـ ا٢ = زاوية ا مـ ا٢ + ب

= ٢ هـ + ب

تكون زاوية ص مـ ا٣ = ٢ هـ + ب

واذن زاوية ا مـ ا٣ = ٢ هـ + ب + ب = ٢ هـ + ٢ ب

وبالمثل يمكن بيان أن

زاوية ا مـ ا٤ = ٤ هـ

وزاوية ا مـ ا٥ = ٤ هـ + ٢ ب   وهكذا

فاذا راعينا الحالة العامة ورمزنا للصورة الحادثة بعد عدد زوجي من الانعكاسات بالرمز ا٢ن والحادثة بعد عدد فردى من الانعكاسات بالرمز ا٢ن+١

تكون   زاوية ا م ا٢ن = ٢ ن هـ

وزاوية ا م ا٢ن+١ = ٢ ن هـ + ٢ ب

وبالمثل بالنسبة الى السلسلة الاخرى التى تبتدىء بالصورة ا' الحادثة بالانعكاس عند السطح مـ س فبالرمز للصورة الحادثة بعد عدد زوجي من الانعكاسات بالرمز ا(٢ن)' وللصورة الحادثة بعد عدد فردى من الانعكاسات بالرمز ا(٢ن+١)' يمكن بيان أن (١)

زاوية ا مـ ا(٢ن)' = ٢ ن هـ

وزاوية ا مـ ا(٢ن+١)' = ٢ ن هـ + ٢ ا

فاذا راعينا السلسلة الاولى وكانت الصورة ا٢ن هى آخر صورة فى هذه السلسلة فنظراً لان آخر صورة لابد من وقوعها فى الزاوية المحصورة بين س١ مـ و ص١ مـ وبما أن هذه الصورة تحدث بعد عدد زوجي من الانعكاسات واذن فهى تحدث بالانعكاس عند السطح مـ س يكون

زاوية ا مـ ا٢ن اكبر من زاوية ا مـ ص١

∴ ٢ ن هـ » » » ط − ب

∴ ٢ ن » » » (ط − ب) / هـ .... (١)

اما اذا كانت الصورة ا٢ن+١ هى آخر هذه السلسلة فنظراً لوقوعها هى أيضاً فى الزاوية بين س١ مـ و ص١ مـ ولانها تحدث بعدعدد فردى من الانعكاسات ولانها لذلك تحدث بالانعكاس عن السطح مـ ص يكون

---

(١) يقصد بالرمز (٢ ن)' أن الشرطة مكررة (٢ ن) مرة

« « « (٢ن+١)' « « « (٢ن+١) «

زاوية ا مـ $\text{ا}_{\text{٢ن+١}}$ أكبر من زاوية ا مـ $\text{س}_{\text{١}}$

$\therefore$ ٢ ن هـ + ٢ ب » » ط − ا

وباضافة المقدار ا − ب الى الطرفين ينتج أن

٢ ن هـ + ا + ب أكبر من ط − ب

$\therefore$ (٢ ن + ١) هـ » » ط − ب

$\therefore$ ٢ ن + ١ » » $\dfrac{\text{ط} - \text{ب}}{\text{هـ}}$ .... (٢)

ويتضح من (١)، (٢) انه سواء أكان عدد الانعكاسات زوجياً أم فردياً فان عدد الانعكاسات الحادثة فى السلسلة الأولى واذن عدد صور هذه السلسلة يكون العدد الكامل التالى للمقدار $\frac{\text{ط} - \text{ب}}{\text{هـ}}$ وبالمثل يمكن اثبات أن عدد الصور الحادثة فى السلسلة الثانية يكون العدد الكامل التالى للمقدار $\dfrac{\text{ط} - \text{ا}}{\text{هـ}}$

فمثلا اذا أخذنا زاوية ٤٥° مثالا وفرضنا أن ا = ٢٥° ، ب = ٢٠° فان

$$\frac{\text{ط} - \text{ب}}{\text{هـ}} = \frac{\text{١٨٠} - \text{٢٠}}{\text{٤٥}} = \text{٣}\frac{\text{٥}}{\text{٩}}$$

$$\text{،}\quad \frac{\text{ط} - \text{ا}}{\text{هـ}} = \frac{\text{١٨٠} - \text{٢٥}}{\text{٤٥}} = \text{٣}\frac{\text{٤}}{\text{٩}}$$

فيكون عدد الصور فى كل من السلسلتين اربعاً ونظراً لانطباق الصورتين النهائيتين فى كل منهما يكون عدد الصور كلها سبعاً

أما اذا كانت الزاوية ٤٠° وكانت زاوية ا = ١٥° ، زاوية ب = ٢٥° فان

$$\frac{\text{ط} - \text{ب}}{\text{هـ}} = \frac{\text{١٨٠} - \text{٢٥}}{\text{٤٠}} = \text{٣}\frac{\text{٧}}{\text{٨}}$$

فيكون عدد صور هذه السلسلة اربعاً

، $\frac{ط - ١}{ه} = \frac{١٨٠ - ١٥}{٤٠} = ٤\frac{١}{٨}$ فيكون عدد صور هذه السلسلة خمسا

أما اذا كان الجسم واقعاً على منتصف الزاوية بين السطحين فيكون

$$\frac{ط - ١}{ه} = \frac{١٨٠ - ٢٠}{٤٠} = ٤$$

ويكون عدد صور كل من السلسلتين أربعاً ويمكن التحقق من ذلك بالرسم

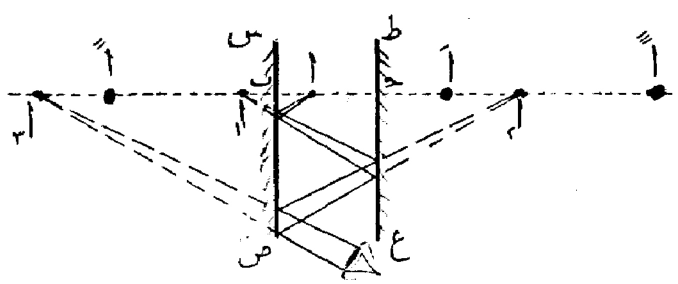
كما انه يستنبط أيضاً من (١) ، (٢) أنه اذا كانت زاوية ه تقسم ط بدون باق فان خارج القسمة يكون العدد الكامل التالى لكل من المقدارين (١) ، (٢) فمثلا اذا كانت الزاوية ٦٠° فان

$\frac{١٨٠ - ١}{٦٠} = ٣ - \frac{١}{٦٠}$. والمقدار $\frac{١}{٦٠}$ كسر

∴ العدد الكامل التالى للمقدار (١) فى هذه الحالة هو ٣

٢٧ — الانعكاس عند السطحين المتوازيين

لنفرض ان نقطة ا (شكل ٢٢) نقطة مضيئة موضوعة بين سطحين متوازيين عاكسين س ص ، ط ع ولنسقط من ا عمودا على السطحين يقطع الاول



(شكل ٢٢)

فى نقطة ب والثانى فى نقطة حـ فباعتبار أن نقطة ا تمثل الجسم يتكون لهذا الجسم صورة تحدث بالانعكاس عن السطح س ص وموضعها $ا_١$ على امتداد العمود ا ب بحيث يكون ب$ا_١$ = ب ا . ومن الاشعة المنعكسة عن السطح س ص كأنها صادرة عن $ا_١$ ما يقع على السطح ط ع ولذلك يمكن أن نعتبر الصورة $ا_١$ كأنها جسم بالنسبة الى السطح ط ع تتكون له الصورة $ا_٢$ على امتداد العمود $ا_١$ حـ بحيث يكون حـ $ا_٢$ = حـ $ا_١$ وبالمثل يمكن اعتبار

الصورة $ا_٢$ كانها جسم بالنسبة الى السطح س ص فتتكون له الصورة $ا_٣$ وهكذا من غير نهاية واذن تحدث سلسلة لا نهاية لها من الصور

و كذلك يتكون للجسم ا صورة اَ تحدث بالانعكاس عن السطح ط ع وموضعها على امتداد العمود ا حـ بحيث يكون حـ اَ = حـ ا والصورة اَ يمكن اعتبارها جسما بالنسبة الى السطح س ص تتكون له الصورة اً وهكذا من غير نهاية واذن تحدث سلسلة أخرى من الصور لا نهاية لعددها

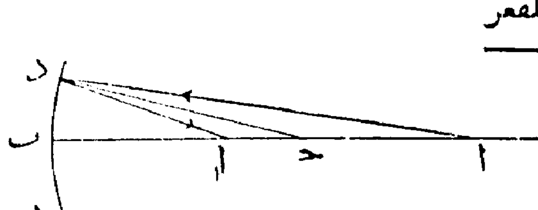
ويلاحظ هنا أيضاً أن العدد الناعت للصورة أو عدد الشرط المميزة لها يدل على عدد الانعكاسات التى تحدث الصورة بعدها . ويمكن رسم مسير الأشعة التى ترى العين بها أى صورة من الصور الحادثة كما شرحنا فيما سبق ومبين فى الشكل مسير الأشعة التى ترى العين بها الصورة $ا_٣$ الحادثة بعد ثلاثة انعكاسات أولها عند السطح س ص

الانعكاس عند السطوح الكرية

٢٨ — الانعكاس عند السطح المنحنى

وعند وقوع أشعة الضوء على سطح عاكس ليس بالمستوى يمكن اعتبار الجزء الصغير جداً من المساحة عند موضع سقوط الشعاع (أى الجزء التفاضلى من السطح عند نقطة السقوط) مستويا فينعكس الشعاع بحيث يكون الشعاع الساقط والعمود المرسوم على الجزء التفاضلى من المساحة عند نقطة السقوط والشعاع المنعكس فى مستوى واحد و تكون زاوية السقوط مساوية زاوية الانعكاس . ويكون الانعكاس عند السطوح المنحنية منقاداً لقانونى الانعكاس كالانعكاس عند السطوح المستوية. وسنقتصر هنا على دراسة ما يترتب على الانعكاس عند السطوح الكرية

٢٩ — الانعكاس عند السطح الكرى المقعر



(شكل ٢٣)

نفرض أن السطح العاكس كرى مقعر كالسطح د ب هـ (شكل ٢٣) ولتكن نقطة حـ مركز تكور السطح ا ى مركز الكرة التي

يعتبر السطح العاكس جزءاً منها فالمستقيم حـ ب الذى هو محور التماثل بالنسبة الى السطح العاكس يسمى المحور الرئيسى أو بايجاز المحور ونقطة ب التى هى مركز السطح العاكس أو منتصفه (ويلاحظ أنها ليست مركز تكوره) أو هى موضع تقابل المحور والسطح تسمى القطب

فاذا فرضنا أنه يوجد على المحور نقطة مضيئة مثل ا ورسمنا أى شعاع مثل ا د يسقط منها على السطح العاكس فان العمود على السطح عند د هو نصف القطر حـ د فاذا رسمنا د $ا_١$ بحيث تكون الزاوية $ا_١$ د حـ مساوية الزاوية ا د حـ كان المستقيم د $ا_١$ الشعاع المنعكس ولتكن نقطة $ا_١$ نقطة تقابله والمحور

فاذا رمزنا لكل من زاويتى السقوط والانعكاس بالحرف ن وللزاوية د ا ب بالحرف ا وللزاوية د حـ ب بالحرف هـ وللزاوية د $ا_١$ ب بالرمز $ا_١$ فان الزاوية الخارجة فى المثلث د ا $ا_١$ وهى

$$ا_١ = ٢ن + ا \quad .... \quad (١)$$

والزاوية الخارجة فى المثلث د حـ $ا_١$ وهى

$$ا_١ = ن + هـ \quad .... \quad (٢)$$

ومن المعادلتين (١) ، (٢) يتضح أن $ا_١ = ٢هـ - ا$

أو

$$٢هـ = ا_١ + ا \quad .... \quad (٣)$$

فاذا فرضنا أن نقطة د قريبة من نقطة ب بحيث يكون المستقيمان ب $ا_١$ ، د $ا_١$ متساويين بالتقريب وكذلك ب ا ، د ا وهذا فرض يمكن الذهاب اليه اذا كان اتساع السطح العاكس صغيراً بالنسبة الى هذه الاطوال امكن اعتبار زاوية

$$ا_١ = \frac{ب د}{ب ا_١}$$

$$، ا = \frac{ب د}{ب ا}$$

وبما أن

$$هـ = \frac{ب د}{ب حـ}$$

ينتج بالتعريض فى المعادلة (٣) وباختصار ب د أن

$$\frac{٢}{ب ح} = \frac{١}{ب ا_١} + \frac{١}{ب ا} \quad \ldots \quad (٤)$$

ويتضح من هذه المعادلة انه أيا كانت نقطة سقوط الشعاع المرسوم من ا على السطح (على فرض أنها قريبة من القطب) فان الشعاع المنعكس يمر بنقطة ثابتة على المحور هى نقطة $ا_١$

فاذا رمزنا لنصف قطر التكور بالرمز س ولبعد النقطة ا عن القطب بالحرف ع ولبعد $ا_١$ عنه بالرمز $ع_١$ يكون

$$\frac{٢}{س} = \frac{١}{ع_١} + \frac{١}{ع} \quad \ldots\ldots \quad (٥)$$

ولما كانت نقطة $ا_١$ نقطة ثابتة على المحور وهى موضع تلاقى الأشعة المنعكسة عن السطح بعد انعكاسها فهى تعتبر صورة لنقطة ا وتكون المعادلة (٥) هى الدالة على علاقة بعد نقطة مضيئة على المحور عن القطب ببعد الصورة التى تتكون على المحور لهذه النقطة عن القطب أيضاً

ويتضح من الشكل انه اذا وضعت النقطة المضيئة عند $ا_١$ فان الشعاع $ا_١$ د بعد انعكاسه يقطع المحور فى نقطة ا واذن تكون هذه النقطة موضع الصورة فكأن موضع النقطة المضيئة وموضع صورتها موضعان يمكن تبادلهما ولذلك يسميان موضعين متبادلين وتسمى النقطتان ا ، $ا_١$ نقطتين متبادلتين (١)

٣٠ — البؤرة والبعد البؤرى فى حالة السطح المقعر

واذا راعينا حالة خاصه تكون النقطة المضيئة فيها على المحور وعلى بعد شاسع جداً من القطب أى تكون فيها قيمة ع فى المعادلة السابقة لا نهاية لها يكون

$$\frac{١}{ع_١} = \frac{٢}{س}$$

واذن يكون موضع صورة النقطة على المحور وفى منتصف نصف قطر تكور السطح وتسمى

---

(١) Conjugate Points

الصورة فى هذه الحالة «البؤرة» (١) ويسمى بعدها عن القطب «البعد البؤرى» واذا رمزنا للبعد البؤرى هنا بالحرف ں تكون المعادلة الدالة على علاقة بعد الجسم ببعد الصورة هى

$$\frac{1}{ع_1} + \frac{1}{ع} = \frac{1}{ں}$$

ولما كانت البؤرة هى موضع الصورة عند ما تكون النقطة المضيئة فى ما لا نهاية فان الأشعة الواقعة من هـذه النقطة على السطح تكون متوازية وموازية للمحور وتكون البؤرة اذن موضع تجمع الأشعة التى تسقط على السطح موازية للمحور بعد انعكاسها عنه

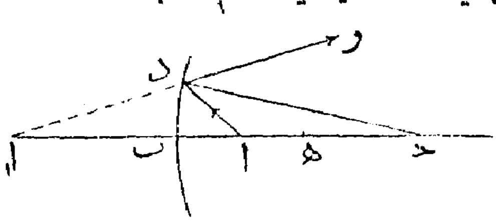
وكذلك يلاحظ أنه اذا كانت ع = ں أى اذا كانت النقطة المضيئة عند البؤرة فان قيمة $ع_1$ التى تستخرج من المعادلة تكون لا نهاية لها واذن تنعكس الاشعة فى هـــذه الحالة عن السطح متوازية

٣١ — الصور الحقيقية والصور التقديرية

وينتج من المعادلة

$$\frac{1}{ع_1} + \frac{1}{ع} = \frac{2}{س} = \frac{1}{ں}$$

انه فى جميع الحالات التى تكون فيها قيمة ع أكبر من $\frac{س}{2}$ أى أكبر من ں تكون فيها قيمة $ع_1$ موجبة ولكن اذا كانت قيمة ع أصغر من قيمة ں تصير قيمة $ع_1$ سالبة



(شكل ٢٤)

ولتوضيح هذا نفرض أن نقطة ا (شكل ٢٤) النقطة المضيئة ولتكن نقطة حـ مركز تكور السطح ونقطة هـ منتصف نصف القطر حـ ب (أى البؤرة) بحيث تقع نقطة ا بين البؤرة هـ والقطب ب ونرسم من ا شعاعاً مثل ا د يسقط على السطح فيكون د حـ العمود فاذا رسم د و بحيث تكون زاوية و د حـ مساوية زاوية ا د حـ كان د و مسير الشعاع المنعكس والشعاع د و لا يقطع المحور وانما امتداد و د الى خلف السطح العاكس يقطع

(١) Focus

المحور فى نقطة $ا_١$ فاذا رمزنا لكل من زاويتى السقوط والانعكاس بالحرف ں وللزاوية د$ا_١$ ب بالرمز $ا_١$ وللزاوية د ا ب بالحرف ا وللزاوية د حـ ب بالحرف مـ فان الزاوية ود ا الخارجة فى المثلث ا د $ا_١$ هى

$$٢ں = ا + ا_١$$

والزاوية ود حـ الخارجة فى المثلث حـ د $ا_١$ هى

$$ں = مـ + ا_١$$

ومن هاتين المعادلتين ينتج أن

$$٢مـ = - ا_١ + ا$$

واذن باستعمال الرموز السابقة وباعتبار أن نقطة د قريبة من القطب يكون

$$\frac{٢}{ں} = - \frac{١}{ع_١} + \frac{١}{ع} = \frac{١}{ل} \quad . \ . \ . \ (١)$$

فالصورة فى هذه الحالة لا يكون موضعها أمام السطح العاكس بل خلفه والمعادلة الدالة على علاقة بعد الجسم ببعد الصورة تختلف من حيث اشارة $ع_١$ عن المعادلة الدالة على هـذه العلاقة عند ما تكون الصورة أمام السطح

والصورة فى هذه الحالة تختلف اختلافاً جوهرياً عن الصورة فى الحالات السابقة ففى الحالات السابقة تتكون الصورة من تلاقى الأشعة المنعكسة بعد انعكاسها أما فى هذه الحالة فالأشعة المنعكسة لا تتلاقى وانما تتلاقى امتداداتها فيخيل للرائى عند وقوع الأشـعة المنعكسة على عينه كأنها صادرة من نقطة خلف السطح العاكس . وتشبه الصورة من هذه الوجهة تلك التى تحدث عن الانعكاس عند السطح المستوى. لذلك يقال عن الصورة التى تحدث عن تجمع الأشعة المنعكسة نفسها «صورة حقيقية»[١] وتلك التى تحدث عن تلاقى امتدادات مسير الاشعة المنعكسة «صورة تقديرية»[٢]

ولما كانت المعادلة فى حالة الصورة التقديرية تختلف من حيث اشارة $ع_١$ عن المعادلة فى حالة

---

(١) Real Image

(٢) Vertual Image

الصورة الحقيقية وهذا الاختلاف غير مرغوب فيه فان هناك قاعدة تعرف « بقاعدة الاشارات » اذا روعيت يبطل الاختلاف بين المعادلتين وتكون صورتهما واحدة

والقاعدة أن يبدأ دائماً فى قياس الأبعاد من القطب وما يقاس فى عكس اتجاه أشعة الضوء الواقعة على السطح يعد موجباً وما يقاس فى اتجاه هذه الأشعة يعد سالباً

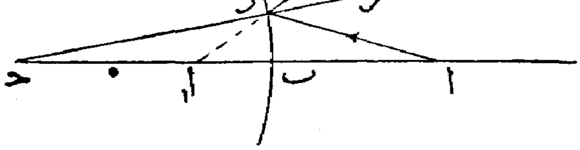
فالأبعاد فى حالة الصورة الحقيقية تكون جميعها طبقاً لهذه القاعدة موجبة ولكن فى حالة الصورة التقديرية فان بعد الصورة وهو المقدار ع١ عند بدء قياسه من القطب يقاس فى اتجاه الضوء الواقع على السطح واذن يعد طبقاً للقاعدة مقداراً سالباً واذا روعى هذا أمكن اعتبار المعادلة

$$\frac{١}{\text{ل}} = \frac{٢}{\text{س}} = \frac{١}{\text{ع}} + \frac{١}{\text{ع}_{١}}$$

معادلة عامة تنطبق فى جميع حالات الصور. فاذا روعيت الحالة التى تكون فيها قيمة ع أقل من ر وتكون فيها قيمة ع١ المستخرجة من المعادلة سالبة يتضح أن الصورة لا يكون موضعها من القطب فى الجهة التى توجد فيها النقطة المضيئة بل فى الجهة الاخرى وأنها تكون صورة تقديرية أما الحالات الأخرى التى تكون فيها قيمة ع أكبر من ر وقيمة ع١ موجبة فان موضع الصورة من القطب يكون فى الجهة الموجودة فيها النقطة المضيئة وتكون الصورة حقيقية

٣٢ — الانعكاس عند السطح الكرى المحدب

الاصطلاحات المختلفة التى تستعمل فى حالة السطح المقعر كالقطب ومركز التكور والمحور تستعمل أيضاً للدلالة على المعانى نفسها فى حالة السطح المحدب فاذا فرضنا أن د ب (شكل ٢٥) يمثل السطح العاكس ونقطة حـ مركز تكوره ونقطة ب القطب وفرضنا أن نقطة ا نقطة مضيئة على المحور ورسمنا ا د مسير شعاع ساقط على السطح فان العمود عند د



(شكل ٢٥)

يكون المستقيم حـ د ر ولذلك اذا رسمنا د و بحيث تكون زاوية و د ر مساوية زاوية ا د ر فان د و

يكون مسير الشعاع المنعكس. والشعاع المنعكس هنا لا يقطع المحور وانما اذا مد على استقامته فان امتداده يقطع المحور فى نقطة ا١

واذا رمزنا لكل من زاويتى السقوط والانعكاس بالحرف ن وللزاوية دحب بالحرف هـ وللزاوية داب بالحرف ا وللزاوية دا١ب بالرمز ا١ فان الزاوية ودا وهى الخارجة فى المثلث ادا١ هى

٢ن = ا + ا١

والزاوية ردا وهى الخارجة فى المثلث ادح هى

ن = هـ + ا

∴ ٢ هـ + ا − ا١ = صفراً

فاذا كانت نقطة د قريبة من القطب ب واستعملت الرموز السابقة يكون

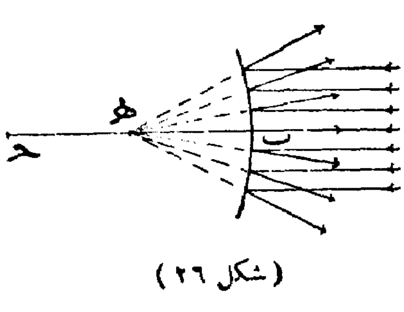
٢/ن = ١/ع١ − ١/ع

وتكون هذه المعادلة هى الدالة على العلاقة بين بعد النقطة المضيئة عن القطب وبعد صورتها عنه وتكون الصورة فى هذه الحالة تقديرية بالمعنى الذى تقدم فى البند السابق

واذا كانت قيمة ع لا نهاية لها فان

١/ع١ = ٢/ن

ويكون موضع الصورة فى هذه الحالة عند منتصف نصف قطر التكور وعلى المحور كما فى حالة السطح المقعر ويسمى موضعها البؤرة ويسمى بعدها عن القطب البعد البؤرى ولكن البؤرة فى حالة السطح المحدب تختلف عنها فى حالة السطح المقعر فهى فى حالة السطح المحدب تقديرية ولكنها فى الحالة الأخرى حقيقية



(شكل ٢٦)

وشكل (٢٦) يوضح معنى البؤرة التقديرية فالأشعة التى تسقط على السطح المحدب موازية للمحور تنعكس عن السطح كأنها صادرة من نقطة هـ التى هى منتصف

نصف القطر ب ح كما أنه اذا وقعت الأشعة على السطح المحدب على هيئة حزمة مخروطية ملمومة فى نقطة هـ فانها تنعكس عن السطح متوازية

فاذا رمزنا للبعد البؤرى بالحرف ل يكون

$$\frac{١}{ل} = \frac{٢}{س} = \frac{١}{ع} - \frac{١}{ع_١}$$

واذا قوبلت هـذه المعادلة بالمعادلة العامة فى حالة السطح المقعر نراها تختلف عنها من حيث الاشارات ولـكن اذا طبقنا القاعدة الخاصة بالاشارات واعتبرنا نصف قطر تكور السطح المحدب والبعد البؤرى وقيمة ع١ مقادير سالبة فان المعادلة هنا تتحول الى الصورة الآتية

$$\frac{١}{ل} = \frac{٢}{س} = \frac{١}{ع} + \frac{١}{ع_١}$$

وتتوحد بهذه الـكيفية معادلة السطح المقعر ومعادلة السطح المحدب وتكون هناك معادلة واحدة بهذه الصورة الأخيرة للسطح الـكرى بوجه عام وتشمل جميع حالات الصور وتراعى عند تطبيقها قاعدة الاشارات

٣٣ — ايجاد صورة نقطة مضيئة ليست على المحور

فى جميع الحالات التى بحثناها آنفاً اعتبرنا الجسم الذى تحدث له صورة بالانعكاس بمثابة نقطة مضيئة على المحور وسنبحث هنا عن الصورة التى تتكون اذا وضع جسم ذو ارتفاع معين ولـكنه صغير أمام السطح الـكرى عمودياً على المحور

وفى هذه الحالة اذا راعينا أية نقطة من الجسم ليست على المحور واستطعنا تحديد مسير شعاعين أو أكثر يصدران منها ، مسيرهما بعد الانعكاس عن السطح فان موضع تقابلهما يكون صورة تلك النقطة

فمن المعلوم أن الشعاع الذى يسقط عمودياً على السطح بحيث تكون زاوية سقوطه صفراً وزاوية انعكاسه صفراً ينعكس فى استقامته الأولى سائرا فى الجهة المضادة والشعاع الذى يسقط عمودياً على السطح الـكرى هو الذى يمر بمركز التكور اذا كان السطح مقعراً أو يمر امتداده

بمركز التكور اذا كان السطح محدباً

ومن المعلوم أن الشعاع الذى يقع على السطح الكرى عند القطب صانعا مع المحور زاوية ما ينعكس بحيث يصنع الشعاع المنعكس مع المحور الزاوية نفسها

ومما دللنا عليه فيما سبق أن الشعاع الذى يسقط موازياً للمحور ينعكس ماراً بالبؤرة اذا كان السطح مقعراً أو ماراً امتداده بالبؤرة اذا كان السطح محدباً

وكذلك دللنا على أن الشعاع الذى يسقط على السطح المقعر ماراً بالبؤرة أو يسقط على السطح المحدب ماراً امتداده بالبؤرة ينعكس موازياً للمحور

فبالاهتداء بهذه المعلومات يمكن تعيين مسير شعاعين أو أكثر يصدران من أية نقطة على الجسم ويكون موضع تقابل هذين الشعاعين أو موضع تقابل هذه الأشعة صورة تلك النقطة

٣٤ — ايجاد الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المقعر لجسم أمامه

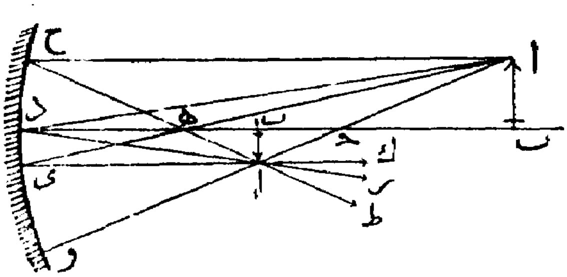
(أولا) اذا كانت الصورة حقيقية

لنفرض أن السطح المقعر كما بشكل (٢٧) مركز تكوره حـ وبؤرته هـ وقطبه د ولنفرض أن ا ب جسم موضوع على بعد من القطب اكبر من البعد البؤرى وانه عمودى على المحور

فاذا رسمنا من نقطة ا الشعاع ا حـ ماراً بالمركز فانه يسقط على السطح فى استقامة ا حـ و وينعكس فى استقامة و حـ

واذا رسمنا الشعاع ا د صانعاً مع المحور زاوية ا د ب فانه ينعكس فى اتجاه د ر صانعاً مع المحور زاوية ر د ب مساوية زاوية السقوط فيتقابل الشعاعان المنعكسان فى نقطة $ا_1$ تكون هى صورة نقطة ا

واذا أسقطنا من $ا_1$ العمود $ا_1 ب_1$ على المحور كانت نقطة $ب_1$ صورة نقطة ب ويكون $ا_1 ب_1$ صورة ا ب . ويمكن بيان أن نقطة $ب_1$ صورة نقطة ب فمن تشابه



(شكل ٢٧)

المثلثين $\text{ا}_1\text{ب}_1\text{حـ}$ ، ا ب حـ يتبين ان

$$\frac{\text{ب}_1\,\text{حـ}}{\text{ب حـ}} = \frac{\text{ا ب}_1}{\text{ا ب}}$$

ومن تشابه المثلثين $\text{ا}_1\text{ب}_1\text{د}$ ، ا ب د يتبين أن

$$\frac{\text{ب}_1\,\text{د}}{\text{ب د}} = \frac{\text{ا ب}_1}{\text{ا ب}}$$

$$\frac{\text{ب}_1\,\text{د}}{\text{ب د}} = \frac{\text{ب}_1\,\text{حـ}}{\text{ب حـ}} \quad \text{اذن}$$

فاذا وصلنا نقطة ب بأية نقطة على السطح بحيث تكون النقطة قريبة من المحور ولتكن النقطة ن مثلا (غير مبينة بالشكل) ووصلنا هذه النقطة بنقطة ب_1 أيضاً فان

$$\text{ب د} = \text{ب ن} \;،\; \text{ب}_1\,\text{د} = \text{ب}_1\,\text{ن}$$

واذن $\frac{\text{ب}_1\,\text{حـ}}{\text{ب حـ}} = \frac{\text{ب}_1\,\text{ن}}{\text{ب ن}}$ واذن زاوية ب ن ب_1 فى المثلث ب ن ب_1 ينصفها المستقيم ن حـ واذن يكون ب ن مسير شعاع ساقط على السطح ، ن ب_1 مسيره بعد الانعكاس ولما كانت ن أية نقطة على السطح العاكس فان جميع الأشعة المنعكسة تمر بنقطة ب_1 واذن فهى صورة للنقطة ب

ولايجاد نقطة ا_1 يمكن رسم الشعاع ا ح موازياً للمحور فيكون مسيره بعد الانعكاس ح هـ ط مارا بالبؤرة أو رسم الشعاع ا هـ ى بحيث يسقط ماراً بالبؤرة فانه ينعكس فى اتجاه ى ك موازياً للمحور . فتكون نقطة تقابل هذين الشعاعين أو تقابل احدهما وأحد الشعاعين المنعكسين السابقين وهى ا_1 صورة ا وسنبين فى بند (٣٦) أن جميع هذه الأشعة المنعكسة تتقابل فى نقطة واحدة هى ا_1

ويتضح من الشكل أنه اذا فرضنا أن $\text{ا}_1\text{ب}_1$ الجسم فان صورته الحادثة بالانعكاس تكون ا ب وتكون مسيرات الأشعة هى هى وانما يكون اتجاه سيرها مضاداً لاتجاهه فى الحالة السابقة ويتضح

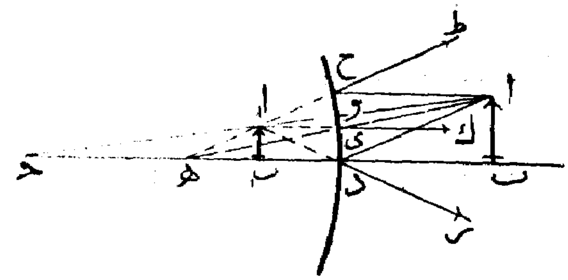
أيضاً أنه اذا كان الجسم ا ب على بعد من القطب أبعد من مركز التكور كانت صورته بين مركز التكور والبؤرة وتكون حقيقية مقلوبة مصغرة واذا كان الجسم بين مركز التكور والبؤرة كانت صورته أبعد من مركز التكور وتكون حقيقية مقلوبة مكبرة ويمكن بالرسم أيضاً بيان أنه اذا كان الجسم عند مركز التكور تكون صورته عنده أيضاً وتكون حقيقية مقلوبة مثل الجسم طولا أو ارتفاعاً

(ثانياً) اذا كانت الصورة تقديرية

فى هذه الحالة يوضع الجسم ا ب بين البؤرة والقطب وترسم أشعة صادرة من نقطة ا كما فى الحالة السابقة تماماً فيرى أنها لا تتقابل بعد انعكاسها وانما تتقابل امتداداتها فى نقطة ا١ خلف السطح العاكس ثم يسقط من هذه النقطة العمود ا١ ب١ على المحور فيكون ا١ ب١ صورة ا ب ويتضح من الشكل أن الصورة فى هذه الحالة تقديرية معتدلة مكبرة

٣١٥ — ايجاد الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المحدب لجسم أمامه

لنفرض أن السطح المحدب كما بشكل (٢٨) مركز تكوره حـ وبؤرته هـ وقطبه د ولنفرض أن ا ب جسم موضوع على المحور عمودى عليه فاذا رسمنا من نقطة ا الشعاع أو بحيث يكون امتداده ماراً بمركز التكور حـ فانه ينعكس فى استقامة و ا. واذا رسمنا الشعاع ا د صانعاً زاوية ا د ب مع المحور فانه ينعكس فى اتجاه د م بحيث تكون زاوية م د ب مساوية زاوية ا د ب فيتقابل



(شكل ٢٨)

امتدادا الشعاعين المنعكسين فى نقطة ا١ وتكون هى صورة ا واذا أسقط العمود ا١ ب١ على المحور تكون نقطة ب١ صورة ب (ويمكن بيان ذلك كما فى الحالة السابقة) واذن يكون ا١ ب١ صورة ا ب ولايجاد نقطة ا١ يمكن رسم الشعاع ا ح موازياً للمحور. فهو ينعكس فى اتجاه ح ط بحيث يمر امتداد ط ح بالبؤرة هـ أو رسم الشعاع ا ى بحيث يمر امتداده بالبؤرة هـ فهو ينعكس فى استقامة ى ك موازياً للمحور فتكون نقطة تقابل امتدادى هذين الشعاعين المنعكسين أو امتداد أحدهما

وامتداد أحد الشعاعين المنعكسين السابقين هي نقطة $\text{ا}_١$ وتكون هى صورة ا وسنبين فيما يأتى أن امتدادات جميع هذه الأشعة المنعكسة تتقابل فى نقطة واحدة هى $\text{ا}_١$

ويتضح من الشكل أن الصورة تقديرية معتدلة مصغرة

٣٦ — ايجاد نسبة طول الصورة الى طول الجسم — التكبير

نسبة طول الصورة الى طول الجسم أو ارتفاع الصورة الى ارتفاع الجسم أو أى بعد طولى فى الصورة الى البعد الطولى الذى يقابله من الجسم تسمى التكبير وتستخرج هذه النسبة من الطرق الهندسية التى سبق ذكرها لايجاد الصورة

فاذا راعينا أولا حالة السطح المقعر ورجعنا الى شكل (٢٧) يتضح من تشابه المثلثين $\text{ا}_١\text{د ب}_١$ ، ا د ب أن

$$\frac{\text{ا}_١\text{ب}_١}{\text{ا ب}} = -\frac{\text{ع}_١}{\text{ع}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (١)$$

حيث توضع الاشارة السالبة للدلالة على أن الصورة مقلوبة

ويتضح من تشابه المثلثين $\text{ا}_١\text{ب}_١\text{ه}$ ، ح د ه أن $\frac{\text{ا}_١\text{ب}_١}{\text{ح د}} = \frac{\text{ه ب}_١}{\text{ه د}}$ ولكن ا ب = ح د

$$\therefore \frac{\text{ا}_١\text{ب}_١}{\text{ا ب}} = \frac{\text{ه ب}_١}{\text{ه د}} = \frac{\text{ع}_١ - \text{ل}}{-\text{ل}} = -\frac{\text{ع}_١ - \text{ل}}{\text{ل}} \quad \ldots\ldots \quad (٢)$$

حيث يلاحظ أن $\text{ه ب}_١$ يقاس فى الاتجاه الموجب ، ه د يقاس فى الاتجاه السالب طبقاً للقاعدة التى يعد تبعا لها الاتجاه المضاد لاتجاه سقوط الضوء موجباً

ويتضح من تشابه المثلثين $\text{ا}_١\text{ب}_١\text{ح}$ ، ا ب ح أن

$$\frac{\text{ا}_١\text{ب}_١}{\text{ا ب}} = \frac{\text{ح ب}_١}{\text{ح ب}} = \frac{-(\text{س} - \text{ع}_١)}{\text{ع} - \text{س}} = -\frac{\text{س} - \text{ع}_١}{\text{ع} - \text{س}} \quad \ldots \quad (٣)$$

ويتضح من تشابه المثلثين ى د ه ، ا ب ه أن

$$\frac{\text{ى د}}{\text{ا ب}} = \frac{\text{ه د}}{\text{ه ب}} \quad \text{ولكن ى د} = \text{ا}_١\text{ب}_١$$

$$\therefore \frac{\text{أ}_1\text{ب}}{\text{أ ن}} = \frac{\text{هـ د}}{\text{هـ ب}} = \frac{-\text{ل}}{\text{ع} - \text{ل}} = -\frac{\text{ل}}{\text{ع} - \text{ل}} \quad \ldots\ldots \ (٤)$$

واذن يكون التكبير مساوياً أحد المقادير الأربعة المذكورة حيث يكون المقدار الأول دالا على التكبير بالنسبة إلى بعد الجسم وبعد الصورة والمقدار الثانى دالا عليه بالنسبة الى بعد الصورة والبعد البؤرى والمقدار الثالث بالنسبة الى بعد الجسم وبعد الصورة ونصف القطر والمقدار الرابع بالنسبة إلى بعد الجسم والبعد البؤرى واذا استبدل فى المقدارين (٢) ، (٤) بالبعد البؤرى ما يساويه من المعادلة

$$\frac{1}{\text{ع}_1} + \frac{1}{\text{ع}} = \frac{2}{\text{ق}} = \frac{1}{\text{ل}}$$

واستبدل فى المقدار (٣) بنصف القطر ما يساويه من هذه المعادلة اتضح أن جميع النسب الأربع متساوية وفى هذا دليل على أن الأشعة الأربعة التى حددنا مسيراتها بعد الانعكاس تتقابل فعلا فى نقطة واحدة هى أ_1

ويكتفى عادة من هذه النسب الأربع بتذكر النسبة الأولى وهى أن التكبير يساوى $-\frac{\text{ع}_1}{\text{ع}}$ فاذا أريد ايجاد التكبير بالنسبة إلى البعد البؤرى وبعد الجسم مثلا عوضنا بدلا من ع_1 قيمتها بالنسبة إلى هذين المقدارين وهكذا

والنسب المذكورة مستخرجة من الحالة التى تكون فيها الصورة حقيقية . ويمكن ايجاد النسب فى حالة الصورة التقديرية اذا كان السطح العاكس مقعراً وكذلك اذا كان محدباً من تشابه المثلثات المقابلة للمثلثات المذكورة هنا ويلاحظ أن النسب فى جميع الحالات ترجع الى صورها المذكورة هنا اذا روعيت قاعدة الاشارات الخاصة ببعد الصورة والبعد البؤرى ونصف قطر التكور فى الحالات المختلفة

٣٧ – الصور الحادثة بالانعكاس عند السطح الكرى : مواضعها وصفاتها

(أولا) السطح المقعر

يمكن ايجاد موضع الصورة والتكبير بالرجوع الى المعادلات

$$\frac{١}{\text{ع}_١} + \frac{١}{\text{ع}} = \frac{٢}{\text{نق}} = \frac{١}{\text{ل}} \quad ، \quad \text{التكبير} = -\frac{\text{ع}_١}{\text{ع}}$$

وسنراعى فيما يلى الحالات المختلفة

(١) الجسم على بعد لا نهاية له من السطح

فى هذه الحالة يكون $\frac{١}{\text{ع}_١} = \frac{١}{\text{ل}}$

واذن الصورة فى البؤرة وهى حقيقية

(٢) الجسم على بعد أكبر من نصف قطر التكور

$$\text{أى} \quad ٢\text{ل} < \text{ع} < \infty$$

$$\therefore \quad \text{صفر} < \frac{١}{\text{ع}} < \frac{١}{٢\text{ل}}$$

$$\therefore \quad \frac{١}{٢\text{ل}} < \frac{١}{\text{ع}_١} < \frac{١}{\text{ل}}$$

$$\therefore \quad \text{ل} < \text{ع}_١ < ٢\text{ل}$$

واذن الصورة تقع بين البؤرة ومركز التكور وهى حقيقية مصغرة ومقلوبة

(٣) الجسم عند مركز التكور

$$\text{أى} \quad \text{ع} = ٢\text{ل}$$

$$\therefore \quad \text{ع}_١ = ٢\text{ل}$$

واذن الصورة تقع عند مركز التكور وهى حقيقية مساوية للجسم ومقلوبة

(٤) الجسم بين المركز والبؤرة

$$\text{أى} \quad \text{ل} < \text{ع} < ٢\text{ل}$$

$$\frac{1}{\text{ل}} > \text{،} \quad \frac{1}{\text{٢ل}} < \frac{1}{\text{ع}} \qquad \therefore$$

$$\text{صفر} > \text{،} \quad \frac{1}{\text{٢ل}} > \frac{1}{\text{ع}_1} \qquad \therefore$$

$$\infty > \text{،} \quad \text{٢ل} < \text{ع}_1 \qquad \therefore$$

واذن الصورة تقع على بعد اكبر من نصف قطر التكور واقل من لانهاية له وهى حقيقية مكبرة ومقلوبة

(٥) الجسم فى البؤرة

فى هذه الحالة

$$\infty = \text{ع}_1$$

واذن الأشعة تنعكس متوازية

(٦) الجسم بين البؤرة والسطح

أى $\text{ل} > \text{ع}$

$$\frac{1}{\text{ل}} < \frac{1}{\text{ع}} \qquad \therefore$$

∴ $\frac{1}{\text{ع}_1}$ مقدار سالب وقيمته اصغر من قيمة $\frac{1}{\text{ع}}$

∴ ع_1 مقدار سالب وقيمته أكبر من قيمة ع

واذن الصورة تقديرية مكبرة ومعتدلة حيث يتضح أن التكبير مقدار موجب نظراً لأن قيمة ع_1 سالبة

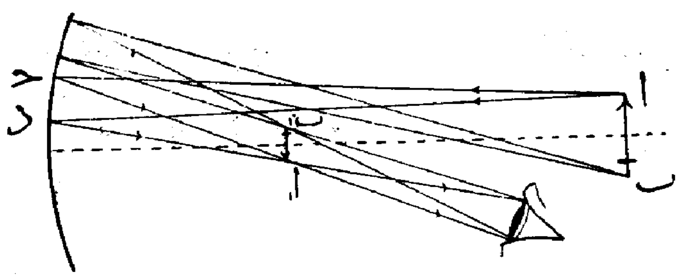
(ثانياً) السطح المحدب

تطبيق المعادلات فى حالة السطح المحدب يتطلب اعتبار كل من ل ، ر مقداراً سالباً واذن أياً كانت قيمة ع فما دامت قيمتها موجبة فان $\frac{1}{\text{ع}_1}$ تكون سالبة وأكبر من $\frac{1}{\text{ع}}$

واذن الصورة تكون تقديرية مصغرة معتدلة

٣٨ – رسم مسير الأشعة التي ترى العين بها صورة تحدث بالانعكاس عن مرآة كرية

(أولا) اذا كانت المرآة مقعرة والصورة حقيقية

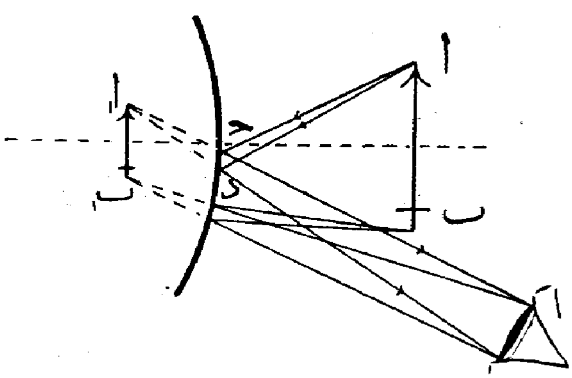


(شكل ٢٩)

نفرض أن ا ب (شكل ٢٩) الجسم ولنعين الصورة ا، ب، أما بالرسم وأما بتطبيق القانون فالعين فى موضعها المبين بالشكل ترى نقطة ا، مثلا من جراء وقوع مخروط الأشعة الذى رأسه عند ا، عليها فاذا مدت هذه الأشعة حتى تقطع سطح المرآة ثم وصلت نقط تقابلها والسطح بنقطة ا تكوّن المخروط ا ح د فهذا عند انعكاسه يلم فى نقطة ا، ثم يقع على العين واذن يمثل مسير الأشعة التى ترى العين بها صورة ا

وبالمثل يمكن رسم مخروط الأشعة التى ترى العين بها صورة آية نقطة أخرى

(ثانياً) اذا كانت المرآة محدبة

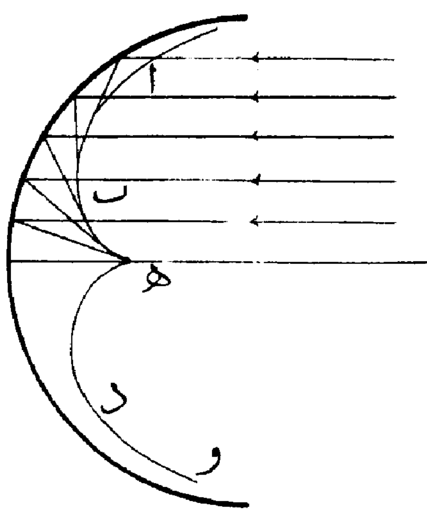


(شكل ٣٠)

فى هذه الحالة تكون الصورة تقديرية ولنفرض أن ا ب (شكل ٣٠) الجسم ولنعين صورته ا، ب، أما بالرسم وأما بتطبيق القانون فالعين فى موضعها المبين بالشكل ترى الصورة ا، بمخروط من الاشعة يكون امتداده ماراً بنقطة ا، فاذا رسم هذا المخروط تقابل والسطح العاكس فى نقط اذا وصلت بنقطة ا تكوّن المخروط ا ح د فهذا عند انعكاسه يقع على العين كأنه صادر من نقطة ا، فيكون هو مخروط الأشعة التى ترى العين بها صورة ا، وبالمثل يمكن رسم مخروط الاشعة التى ترى العين بها صورة أية نقطة أخرى

٣٩ — غلاف الأشعة المنعكسة عند السطح الكرى

اذا رسم فى مستوى الورقة عدة أشعة متوازية تسقط موازية للمحور على سطح كرى عاكس ورسم لكل شعاع منها على حدته الشعاع المنعكس بحيث تكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس فان الأشعة المنعكسة عند ما يكون السطح مقعراً أو امتداداتها اذا كان السطح محدباً لا تمر بنقطة واحدة هى البؤرة ولكنها تمس منحنياً كالمنحنى ا ب ه د و (شكل ٣١) يكون غلافا لها ويسمى المنحنى الغلافى للاشعة المنعكسة وتكون نقطة ه هى موضع البؤرة لأنها تكون نقطة تقابل الأشعة المنعكسة فى حالة السطح المقعر (أو امتداداتها فى حالة السطح المحدب) حين تكون مواضع سقوطها قريبة جداً من القطب كذلك اذا رسمت عدة أشعة صادرة من نقطة على المحور ورسم لكل واحد منها شعاع منعكس فان الاشعة المنعكسة تمس هى أو امتداداتها منحنياً شبيهاً بالغلاف فى حالة الاشعة المتوازية ويسمى الغلاف أيضاً وتكون النقطة المقابلة لنقطة ه وهى رأس الغلاف هى الصورة الحادثة للنقطة المضيئة اذا كانت مواضع سقوط الاشعة قريبة جداً من القطب



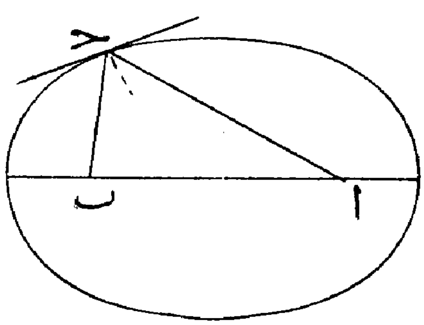
(شكل ٣١)

والغلاف المبين بشكل (٣١) هو الغلاف للاشعة المنعكسة الواقعة فى مستوى الورقة فاذا أدير الشكل كله حول المحور تكون من نصف الدائرة نصف كرة ومن المنحنى الغلافى سطح يكون غلافاً للاشعة المنعكسة عن السطح الكرى ويسمى السطح الغلافى للاشعة المنعكسة

ويمكن بيان الغلاف عملياً بطريقة سهلة بأن توضع مرآة اسطوانية سطحها العاكس هو المقعر وليست بذات ارتفاع كبير، عمودياً على سطح قطعة من الورق الابيض أو لوح من الزجاج النصف الشفاف ويصوب على سطحها حزمة من أشعة الشمس فنظراً لتقارب الاشعة المنعكسة بعضها من الآخر بالقرب من الغلاف يرى على سطح الورقة أو سطح اللوح الزجاجى خط منحن من نور يمثل الغلاف

٤٠ — الانعكاس عن مدور القطع الناقص ومدور القطع المكافىء

مدور القطع الناقص هو السطح الحاصل من دوران القطع الناقص حول أحد محوريه أو قطريه ، وللقطع الناقص نقطتان مجموع بعديهما عن أية نقطة على المحيط ثابت وتسميان بؤرتيه ومن الخواص الهندسية للقطع الناقص أنه اذا وصلت بؤرتاه ا ، ب (شكل ٣٢) بأية نقطة مثل حـ على المحيط كان ميل المستقيمين ا حـ ، ب حـ على المماس المرسوم عند نقطة حـ واحدا واذن تكون الزاوية الواقعة بين ا حـ والعمود على المماس عند حـ مساوية الزاوية الواقعة بين هذا العمود والمستقيم ب حـ فعند دوران القطع الناقص حول المحور ا ب وتكون مدور القطع الناقص يتضح مما سبق أنه اذا كان سطحه الداخلي عاكساً وفرضنا عند احدى بؤرتيه نقطة مضيئة فان أي شعاع يسقط منها على السطح ينعكس ماراً بالبؤرة الثانية واذن تلم بالانعكاس عن السطح جميع الاشعة الصادرة من النقطة المضيئة فى البؤرة الثانية



شكل (٣٢)

فاذا استعمل جزء من سطح مدور القطع الناقص كسطح عاكس فانه يمتاز عن السطح الكرى المقعر فى أنه اذا وضعت نقطة مضيئة عند احدى البؤرتين تكونت بالانعكاس صورة لها عند البؤرة الثانية أياً كان اتساع السطح العاكس (أى دون أن يتوافر الفرض الذى ذهبنا اليه فى السطوح الكرية وهو ان تكون نقط السقوط قريبة جداً من القطب)

ومن المعلوم أن القطع المكافىء يمكن اعتباره قطعاً ناقصاً قد بعدت احدى بؤرتيه عن الاخرى بعداً لا نهاية له واذن نرى أنه اذا استعمل جزء من سطح مدور القطع المكافىء كسطح مقعر عاكس فان الاشعة الموازية للمحور الواقعة على جميع أجزاء هذا السطح (من غير أن نقتصر على الاشعة التى تكون نقط سقوطها قريبة جداً من القطب) تمر بعد الانعكاس بنقطة واحدة هى البؤرة كما انه اذا وضعت نقطة مضيئة فى البؤرة فان جميع الاشعة المنعكسة تكون متوازية وموازية للمحور أياً كان اتساع السطح .