الباب الأول

انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة
وقانون التربيع العكسى

١ — الضوء وامتداده من المرئى الى العين

يعرف الضوء مبدئياً تعريفاً بسيطاً بأنه المؤثر الخارجى الذى يحدث الاحساس الابصارى وقد كان يظن قديماً أن الاحساس الابصارى يحدث عن شىء يخرج من العين ويقع على المرئى وكانت هذه نظرية بعض فلاسفة اليونان كأفلاطون وأوقليدس ولكن أبطلها الحسن بن الهيثم العالم العربى المتوفى فى سنة ١٠٣٨ ميلادية اذ قرر أن الضوء يخرج من المرئى ويقع على العين فاذا حال حائل دون وقوعه عليها احتجب المرئى وانقطعت رؤيته

والأدلة على صحة هذا الرأى كثيرة فالانسان لا يستطيع بتاتاً الرؤية فى الظلام المطلق ولو كان الضوء ينبعث من العين لما استحالت الرؤية فى هذه الحالة كما أن المشاهدات والمحسوسات تدل بوجه عام على أن المؤثر الذى يحدث الاحساس الابصارى له وجود ذاتى غير مرتبط بوجود العين فله مثلا تأثيرات فتوغرافية وغير فتوغرافية لا ارتباط لها بالعين رأسا

٢ — انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة

والأجسام أو المواد التى ينفذ الضوء خلالها تسمى « أوساطاً » ومنها الهواء والماء والزجاج بل والخلاء (أى الفراغ المجرد عن المادة) . ومن الخواص الأولية للضوء أن مسيره فى الوسط المتجانس الأجزاء[1] والمتشابه الخواص فى جميع الاتجاهات[2] يكون على سمت خطوط مستقيمة فضوء الشمس مثلا عند ما يدخل فى غرفة مظلمة من كوة فى الحائط يضىء دقائق الهباء أو الدخان

---

(١) Homogeneous (٢) Isotropic

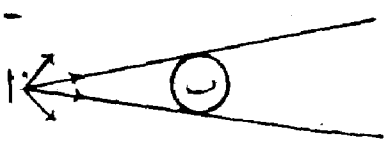
أو ما شابه ذلك مما ينتشر فى الجو ويقع فى سبيله ، فيتضح بجلاء أن اتجاه سيره مستقيم . واذا أوقدت شمعة وحالت بينها وبين العين حوائل معتمة غير منفذة للضوء وكان بكل بها ثقب فانه لا يصل ضوء الشمعة الى العين الا اذا جعلت الثقوب جميعها فى الخط المستقيم الواصـــل بين العين ولهب الشمعة .

والخط الذى يدل على اتجاه انتشار الضوء يسمى « شعاعاً » . فالنقطة المضيئة من النير تعد مصدر أشعة من الضوء تبتدىء منها وتذهب فى الوسط المتجانس الاجزاء والمتشابه الخواص على هيئة خطوط مستقيمة . ويطلق لفظ « الحزمة » على مجموعة من الاشعة . والحزمة الضوئيـة مخروطية الشكل عادة حيث تتقابل أشعتها فى نقطة واحدة ، فاذا كان صدور هذه الاشعة من هذه النقطة قيل ان الحزمة « متفرقة » أو « مبعثرة » ، واذا كان ورودها الى النقطة قيل ان الحزمة « متجمعة » أو « ملمومة » . واذا كانت النقطة التى هى رأس المخروط على بعد شاسع جداً تعتبر الحزمة متوازية الاشعة كالحزمة التى يحصل عليها من ضوء الشمس مثلا

٣ ــ الظلال

ولعل أكبر الادلة على انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة تلك الظواهر التى يمكن تعليلها تعليلا بسيطاً على أساس هذا الاعتبار . ومن أهم هذه الظواهر تكوّن الظلال . فاذا وضع حائل معتم فى سبيل الضوء المنبعث من مصـدر صغير يكاد لصغره أن يكون نقطة تكوّن للحائل ظل يحد بامتدادات الخطوط المستقيمة التى تصل بين مصدر الضوء وأطراف الحائل

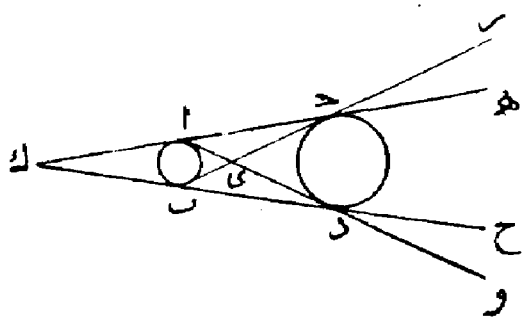
فاذا فرضنا أن مصدر الضوء نقطة مثل ا (شكل ١) ووضع فى سبيل الضوء كرة معتمة مثل ب أصبح المكان المحدود بامتدادات المماسات المرسومة من ا منطقة مظلمة لعدم وصول أشعة الضوء اليها فيتكون للكرة ظل على شكل مخروط ناقص ويكون مقطع هـذا الظل بمستوى عمودى على المستقيم الواصل بين نقطة ا ومركز الكرة دائرة



(شكل ١)

واذا راعينا حالة أخرى يكون فيها مصدر الضوء كرة ويكون الجسم المعتم كرة أيضاً ولكنها أكبر حجما من الأولى فبالنسبة الى نقطة ا (شكل ٢) تتكون منطقة ظل تمتد فى الشكل المسطح

الواقع فى مستوى الورقة بالمستقيمين حـ هـ ، د و . وكذلك بالنسبة الى نقطة ب فانه تتكون منطقة ظل تحد فى الشكل المذكور بالمستقيمين حـ ر ، د ح

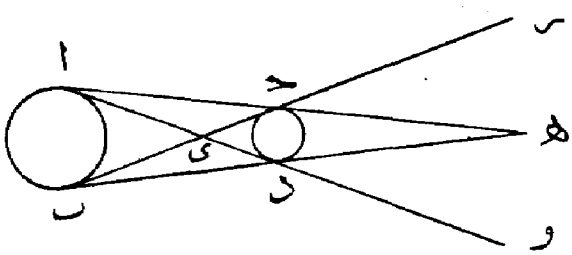


(شكل ٢)

فيتبين أن المنقطة المظلمة تماماً والتى لا يبلغها شىء من ضوء النير هى المحدودة فى الشكل بالمستقيمين حـ هـ ، د ح فاذا خرجنا من هذه المنطقة الى أعلى أخذ ينكشف جزء من أعلى النير يزداد فى الكبر كلما قربنا من المستقيم حـ ر او اذا خرجنا الى أسفل أخذ ينكشف جزء من أسفل النير يزداد أيضاً فى الكبر كلما قربنا من المستقيم د و . واذن تكون المنطقتان المحدودتان فى الشكل احداهما بالمستقيمين حـ هـ ، حـ ر والاخرى بالمستقيمين د ح ، د و ليستا بالمظلمتين تماماً ولا بالمضيئتين تماماً ويزداد ضياء الاولى كلما قربنا من حـ ر وضياء الثانية كلما قربنا من د و وللتمييز بينهما وبين منطقة الظل التام تسميان « شبه الظل »

وتتضح الهيئة التامة لمنطقتى الظل وشبه الظل فى المكان ذى الابعاد الثلاثة اذا تصورنا ان الشكل قد أدير حول المستقيم الواصل بين المركزين فيتكون من دوران حـ ر ، د و مخروط ناقص رأسه عند نقطة ى ومن دوران حـ هـ ، د ح مخروط ناقص رأسه عند ك فيمثل المخروط الناقص الأخير هذا منطقة الظل ويمثل ما يبقى من المخروط الناقص الأول بعد ذلك منطقة شبه الظل ويكون المقطع بمستوى عمودى على المستقيم الواصل بين المركزين دائرة مظلمة حولها حلقة تزداد ضياء كلما قربنا من حافتها

واذا راعينا حالة ثالثة يكون فيها كل من النير والجسم المعتم كرة ولكن كرة النير أكبر حجما من كرة المعتم فان منطقة الظل فى المكان ذى الأبعاد الثلاثة تكون مخروطاً كالمخروط حـ هـ د المبين بشكل (٣) فى حين أن منطقة شبه الظل تكون ما يبقى من المخروط الناقص



(شكل ٣)

ح ر و د من بعد ذلك

واذا كان النير كرة والجسم المعتم كرة تساويها فى الحجم فمن السهل بيان أن منطقة الظل تكون اسطوانية الشكل

٤ — الخسوف والكسوف

والحالة الثالثة التى ذكرناها فيما يسبق تحدث فى الطبيعة و يترتب على حدوثها كسوف الشمس وخسوف القمر . فكسوف الشمس يحدث من توسط القمر بينها و بين الأرض ، والشمس أكبر حجما من القمر فيمكن اعتبار الكرة ا ب (شكل ٣) تمثل الشمس والكرة ح د تمثل القمر فاذا وقعت الأرض أو بالأحرى بعض أجزائها فى منطقة مخروط الظل ح ه د احتجبت الشمس احتجاباً كلياً عن هذه الأجزاء فيحدث لديها ما يسمى «الكسوف الكلى» للشمس . أما أجزاء الأرض الواقعة فى منطقة شبه الظل فنظراً لاحتجاب جزء من قرص الشمس عنها يحدث لديها ما يسمى «الكسوف الجزئى» للشمس وقد تقع الأرض من القمر والشمس موقعاً بحيث يكون بعض أجزائها على امتداد المستقيم الواصل بين مركز الشمس ومركز القمر ، ولكنه أبعد عن القمر من نقطة ه التى هى رأس مخروط الظل ، فبالنسبة الى هذه الأجزاء يحتجب الجزء الأوسط من قرص الشمس دون حافته فيظهر مظهر الشمس كقرص مظلم حوله حلقة مضيئة و يسمى الكسوف فى هذه الحالة « حلقياً »

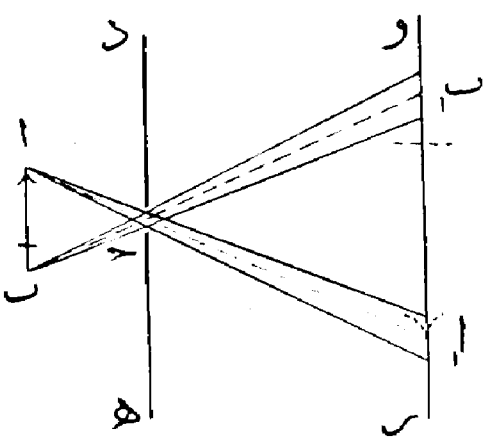
ويقع حلول القمر بين الشمس و بين الأرض حين يكون القمر هلالا فى أول الشهر العربى أو آخره ولذلك يقع كسوف الشمس فى هذه الآونة

أما خسوف القمر فيحدث عند توسط الأرض بينه و بين الشمس فاذا وقع القمر فى منطقة شبه الظل الحادث للارض كان الخسوف جزئياً واذا دخل منطقة الظل صار الخسوف كلياً و يحدث توسط الأرض بين القمر والشمس حين يكون القمر بدراً ولذلك يقع خسوف القمر حوالى نصف الشهر العربى

٥ — الحصول على صور المرئيات بواسطة ثقب صغير

ومما يترتب رأساً على انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة امكان الحصول بوساطة ثقب ضيق فى حاجز معتم على صور المرئيات

فاذا فرضنا أن ا ب (شكل ٤) يمثل مرئياً رأسياً كلهب شمعة موقدة موضوعة فى أحد جانبى حاجز رأسى معتم د هـ به ثقب ضيق عند حـ وفرضنا عند و ر فى الجانب الآخر من هذا الحاجز حاجزا رأسيا أبيض كقطعة من الورق المقوى مثلا فان من الأشعة الصادرة من نقطة ا مخروطاً من الأشعة ينفذ خلال الثقب الى الجانب الآخر منه وتقع هذه الأشعة على الحاجز الأبيض عند ا، وكذلك ينفذ من الأشعة الصادرة من ب مخروط يقع على الحاجز الأبيض عند ب، ، وبالمثل ينفذ من الاشعة الصادرة من أية نقطة من المرئى بين ا ، ب مخروط يقع على الحاجز الابيض فى موضع مقابل لهذه النقطة بين ا، ، ب، وبهذه الكيفية يتكون على الحاجز الابيض صورة



(شكل ٤)

ا، ب، تشبه المرئى ا ب لولا أنها غير واضحة وذلك لان صورة النقطة الواحدة من المرئى لا تكون نقطة مقابلة لها على الحاجز بل مساحة صغيرة هى مقطع مخروط الاشعة النافذة من الثقب وهذه المساحات يقع بعضها على الآخر. ولكن اذا ضاق الثقب ضاق تبعاً لذلك مخروط الاشعة النافذة منه وزادت الصورة دقة ولكنها تقل فى الوقت نفسه سطوعا لأن ضيق الثقب يقلل من الضوء النافذ منه

هذه وسيلة سهلة للحصول على صور المرئيات وهى فى ذاتها دليل على انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة.

ويمكن ايجاد نسبة طول الصورة الى طول الجسم. فاذا رسمنا المستقيم ا حـ ا، ماراً بمركز الثقب و المستقيم ب حـ ب، ماراً بمركز الثقب أيضاً ينتج من تشابه المثلثين ا ب حـ ، ا، ب، حـ أن

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

وتساوى أيضاً هذه النسبة نسبة بعد الجسم عن الثقب الى بعد صورته عنه

٦ — شدة الاستضاءة وقانون التربيع العكسى

اذا عرضت فى غرفة مظلمة صحيفة من الورق لضوء مصباح فان الاستضاءة على سطح الصحيفة تتغير تبعاً لتغير بعدها عن المصباح وتتغير أيضاً تبعاً لتغير مقدار[1] الضوء المنبعث من هذا المصباح وتتغير أيضاً بتغير ميل الاشعة على سطح الصحيفة . وتعرف « شدة الاستضاءة » فى نقطة على سطح الصحيفة بمقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن على وحدة المساحة عند هذه النقطة أما شدة الاستضاءة فى نقطة ما فتعرف بمقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن على وحدة المساحة عند هذه النقطة ولكن حين تكون هذه المساحة عمودية على الاشعة

فاذا تصورنا نقطة مضيئة ينبعث منها الضوء فى خطوط مستقيمة باستمرار وانتظام فى جميع الجهات ورسمنا كرة مركزها هذه النقطة فان الاشعة المنبعثة من المركز تقع على سطح هذه الكرة عمودياً عليه ويكون من نصيب كل وحدة من وحدات المساحة من سطح هذه الكرة مقدار معين من الضوء فى الثانية . فهذا المقدار هو شدة الاستضاءة فى أية نقطة عند سطح هذه الكرة وهو أيضاً شدة الاستضاءة فى أية نقطة تبعد عن المصدر بمقدار نصف قطر هذه الكرة . واذا رمزنا لنصف قطر هذه الكرة بالحرف م ولمقدار الضوء المنبعث فى وحدة الزمن من المركز بالحرف صه ورمزنا لشدة الاستضاءة عند سطح الكرة بالحرف سه فان

$$\text{سه} = \frac{\text{صه}}{٤ \text{ ط م}^٢}$$

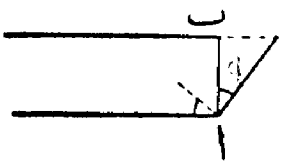
---

(١) سنذهب فى هذا الفصل الى أن الضوء كم يمكن قياسه والضوء كما سيتبين من هذا الكتاب وطبقا للنظرية المعول عليها انما هو حركة موجية . فانتقاله من مكان الى آخر هو انتقال للطاقة وكمه اذن هو كم الطاقة . غير أن البحث فى هذا الفصل لا يتطلب الا اعتباره كما دون تحديد معنى هذا الكم . وكل ما سيقال هنا بخصوص قياسه لا يتجاوز المقابلة بين المقادير المنبعثة من المصادر المختلفة دون قياس كل مقدار منها قياسا مطلقا

ومن هذه المعادلة يتبين أن شدة الاستضاءة فى أية نقطة تتناسب تناسباً عكسياً ومربع بعد هذه النقطة عن مصدر الضوء ويعرف هذا بقانون التربيع العكسى

وقد ذهبنا فى بيان هذا القانون الى أن مصدر الضوء نقطة ومصادر الضوء المعتادة ليست كذلك ولكن مصدر الضوء أياً كان يمكن اعتبار سطحه مكوناً من عناصر صغيرة أو أجزاء تفاضلية يعد كل واحد منها كأنه نقطة مضيئة يصح بالنسبة اليه على حدته الفرض المذكور. واذن تكون شدة الاستضاءة الحاصلة بفعل المصدر كله هى مجموع شدات الاستضاءة الحادثة بفعل هذه الأجزاء كل على حدته. واذا كانت النقطة التى تقدر عندها شدة الاستضاءة بعيدة بعداً كبيراً يخول اعتبارها متساوية الابعاد عن جميع أجزاء المصدر فان المعادلة المذكورة تصح بالنسبة الى المصدر كله حيث تكون صه مقدار الضوء المنبعث فى وحدة الزمن من المصدر كله وتكون م بعده عن النقطة

٧ ــ تعلق شدة الاستضاءة على السطح بزاوية ميل الأشعة عليه



(شكل ٥)

اذا فرضنا أن حزمة من الأشعة المتوازية تسقط عمودياً على السطح ا ب (شكل ٥) ورسمنا ا حـ سطحاً يميل على الأول بزاوية قدرها هـ فان شدة الاستضاءة فى أية نقطة على السطح ا ب (باعتبار أن الضوء يتوزع عليه بانتظام) هى طبقاً للتعريف السابق مقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن على وحدة المساحات من السطح فاذا رمزنا لها بالحرف سه ورمزنا للمساحة ا ب بالحرف ع يكون مقدار الضوء الواقع على المساحة كلها مساوياً

سه ع

ونظراً لانتشار الضوء فى خطوط مستقيمة فان هذا المقدار من الضوء يتوزع على المساحة ا حـ اذا أزيح السطح الأول لكى يقع الضوء على السطح الثانى حيث تكون المساحة ا حـ هى المحدودة بامتدادات الأشعة الساقطة على المساحة ا ب فاذا رمزنا لمساحة السطح ا حـ بالرمز ع، تكون شدة الاستضاءة على هذا السطح هى

$$\text{ش} \frac{ع}{ع_1}$$

وبما أن ع = ع$_1$ حا هـ

تكون شدة الاستضاءة على السطح ا ح هى

ش حتا هـ

ويتبين من الشكل أن زاوية هـ تساوى الزاوية المحصورة بين اتجاه الاشعة الواقعة على السطح ا ح وبين العمود المرسوم على هذا السطح

ويتضح مما سبق أنه اذا رمز لشدة الاستضاءة فى أية نقطة بالحرف ش فان شدة الاستضاءة عند هذه النقطة على سطح موضوع عمودياً على اتجاه الاشعة تكون ش أيضاً ولكنها على سطح يميل على الاول بزاوية هـ تكون ش حا هـ

وان كنا فى الشرح السابق فرضنا أن الضوء يقع على السطح ا ب على هيئة حزمة من الاشعة المتوازية فان الشرح نفسه ينطبق فى حالة ما تكون الاشعة على هيئة حزمة مخروطية ورأس المخروط النقطة المضيئة التى ينبعث منها الضوء على فرض أن المساحة ا ب صغيرة للغاية (مقدار تفاضلى) فى هذه الحالة يصح اعتبار الاشعة عمودية عليها ويصح أيضاً اعتبار الاشعة كلها مائلة على العمود المرسوم على المساحة ا ح بزاوية واحدة قدرها هـ

٨ — قوى الاضاءة والمقابلة بينها

يعبر « بقوة اضاءة » المصدر عن مقدار الضوء المنبعث منه فى وحدة الزمن وقد يعنى بقوة الاضاءة مقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن عمودياً على وحدة المساحات فى نقطة على بعد قدره وحدة الاطوال من المصدر وسواء أذهبنا المذهب الاول أم الثانى فى التعريف فانه يمكن المقابلة بين قوتى اضاءة مصدرين مختلفين بأن تجعل شدة الاستضاءة فى نقطة معينة من جراء الضوء الصادر من أحد المصدرين مساوية شدة الاستضاءة فى النقطة نفسها من جراء الضوء الصادر من الآخر. فاذا رمزنا لمقدار الضوء المنبعث فى الثانية من المصدر الاول بالرمز ص$_1$ ولبعده عن النقطة المذكورة بالرمز م$_1$ ولمقدار

الضوء المنبعث فى الثانية من المصدر الثانى بالرمز $ص_{٢}$ ولبعده عن النقطة نفسها بالرمز $م_{٢}$ فان شدة الاستضاءة الحادثة بفعل المصدر الاول فى هذه النقطة تكون

$$\frac{ص_{١}}{٤ط م_{١}^{٢}}$$

وشدتها بفعل المصدر الثانى تكون

$$\frac{ص_{١}}{٤ط م_{٢}^{٢}}$$

باعتبار أن الضوء ينبعث بانتظام فى جميع الجهات فى الحالتين

و بما أن الشدتين متساويتان يكون

$$\frac{ص_{١}}{ص_{٢}} = \frac{م_{١}^{٢}}{م_{٢}^{٢}}$$

كذلك اذا رمز بالرمز $ن_{١}$ لمقدار الضوء الواقع فى الثانيـة عمودياً على وحدة المساحة فى نقطة تبعد بمقدار وحدة الأطوال عن المصدر الأول و بالرمز $ن_{٢}$ لمثيله بالنسبة الى المصدر الثانى وعلى فرض أن الضوء ينبعث بانتظام فى جميع الجهات يكون

$$ن_{١} = \frac{ص_{١}}{٤ ط}$$

و $$ن_{٢} = \frac{ص_{٢}}{٤ ط}$$

وتكون شدة الاستضاءة

$$\frac{ن_{١}}{م_{١}^{٢}} = \frac{ن_{٢}}{م_{٢}^{٢}}$$

اذن $$\frac{ن_{١}}{ن_{٢}} = \frac{م_{١}^{٢}}{م_{٢}^{٢}}$$

فاذا اتخذت قوة اضاءة أحد المصدرين عياراً أمكن ايجاد قيمة قوة اضاءة الثانى بالنسبة الى هذا العيار

والاجهزة التى تطبق بوساطتها الفكرة السابقة للمقابلة بين قوى الاضاءة لمصـــادر الضوء المختلفة تسمى « الفتومترات » أو مقاييس الضوء

٩ — المصدر العيارى

والمصدر الضوئى الذى يتخذ عادة وحدة تقاس بالاضافة اليها قوى الاضاءة هو الشمعة ولكن لما كان مقدار الضوء المنبعث فى وحدة الزمن من لهب الشمعة يختلف باختلاف نوع مادتهـــا وسمكها ومعدل احتراقها وطول فتيلتها وشكلها فانه يشترط فى الشمعة التى تتخذ وحدة للقياس فى انجلترا أن تكون مصنوعة من شمع القيطس (الحوت)[١] وأن تكون كتلتها ½ الباوند وقطرها ⅞ البوصة ويحترق من مادتها فى الساعة الواحدة ٠,٢٧ من الأونس بالتقريب ولكن بالرغم من هذا لما كان الضوء المنبعث يتوقف مقداره على طول الفتيلة وشكلها فان الشمعة بوجه عام لا تصلح أن تكون وحدة ثابتة يعتمد عليها

ولذلك يستبدل بالشمعة مصادر أخرى . وهى كثيرة نكتفى هنا بذكر واحد منهـا لسهولة تركيبه وسهولة الحصول عليه وهو مصباح « هفنر »[٢]

وهـذا مصباح وقوده « اسيتات الاميل »[٣] ويتركب كما هو مبين بشكل (٦) من وعاء ا مصنوع من الشبه يبلغ قطره ٧ سنتيمترات وارتفاعه ٣,٨ من السنتيمتر يسع حوالى ١١٥ سنتيمتراً مكعباً من اسيتات الاميل ومثبت بأعلى الاناء انبوبة ب مصنوعة من الفضة الألمانيـة ارتفاعها ٢,٥ من السنتيمتر وقطرها الداخلى ٠,٨ من السنتيمتر وبداخلها فتيلة من القطن يمكن رفعها أو خفضها بوساطة المسمار المحوى حـ

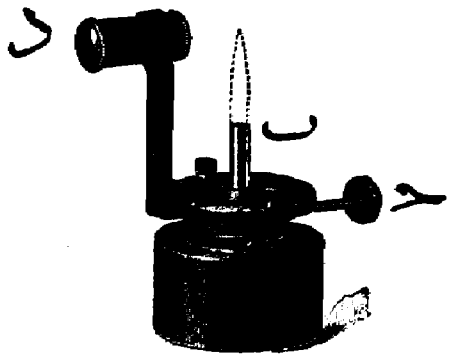
ولاستعمال المصباح يهيأ ارتفاع لهبه لكى يكون أربعين ملليمتراً بالضبط وليتيسر ذلك توجد بالمصباح انبوبة د مثبت فى وسطها ماراً بمحورها لوح أفقى من الفولاذ حتى اذا نظر خلال الانبوبة الى اللهب وغير ارتفاعه حتى يلمس الطرف الاعلى للجزء المضىء من اللهب امتـــداد السطح الاسفل للوح الفولاذى يكون ارتفاع اللهب الارتفاع المطلوب

---

(١) يوجد الشمع ممزوجا بزيت يستخرج من رأس نوع من القيطس اسمه (Spermwhale)

(٢) Hefner (٣) Amyl Acetate

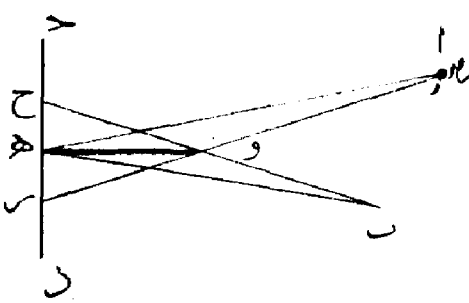
أما فى الأجهزة الدقيقة فانه توجد فى طرف الانبوبة د القريب الى اللهب عدسة ويوجد فى طرفها الآخر لوح من الزجاج النصف الشفاف به خط أفقى حتى اذا وقعت صورة الطرف الاعلى للهب (وهى الصورة التى تتكون بوساطة العدسة) عند هذا الخط كان ارتفاع اللهب الارتفاع المطلوب ومن الضرورى عند استعمال هذا المصباح أن يكون ارتفاع لهبه بالقدر المقدور فقد دلت التجارب على أن تغير الارتفاع بمقدار مليمتر واحد يغير من قوة اضاءة المصباح بمقدار ثلاثة فى المائة بالتقريب وتقدر قوة اضاءة هذا المصباح بمقدار . ٩ ر . من الشمعة



(شكل ٦)

١٠ — فتومتر « بوجير »[1]

يتركب هذا الفتومتر عادة من لوح رأسى حـ د (شكل ٧) من الزجاج النصف الشفاف وحاجز رأسى هـ و قد طلى جانباه بطلاء اسود وثبت عمودياً على اللوح بحيث يقسمه قسمين متساويين كما هو مبين بالشكل فاذا وضع أحد المصدرين اللذين يراد المقابلة بينهما عند ا مثلا أضاء هذا المصدر النصف حـ هـ من اللوح وأحدث للحاجز ظلا هـ ر على النصف الآخر من اللوح . كذلك اذا وضع المصدر الثانى عند ب أضاء النصف هـ د من اللوح وأحدث للحاجز ظلا هـ ح على النصف الأول . فاذا وضع المصدران معاً أحدهما عند ا والآخر عند ب أضاء الواحد منهما الظل الناشىء عن وجود الثانى فاذا غير بعد أحدهما أو كليهما حتى يصير الظلان متشابهين ضياء أو ظلمة (وينظر الى الظلين للمقابلة بينهما من خلف اللوح) كانت شدة الاستضاءة عند الظل الناشىء عن وجود أحد المصدرين من جراء الضوء الواقع عليه من الآخر مساوية شدة الاستضاءة عند الظل الثانى من جراء الضوء الواقع عليه من المصدر الاول فاذا رمزنا لقوة اضاءة



(شكل ٧)

(١) هو Bouguer المخترع

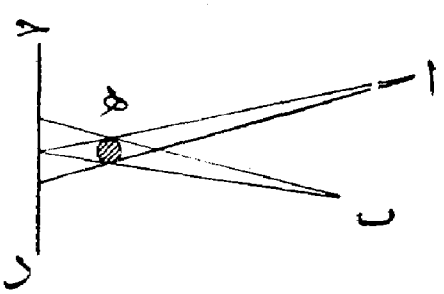
أحد المصدرين بالرمز $و_1$ ولبعده عن منتصف اللوح الزجاجى بالرمز $م_1$ ولقوة اضاءة الثانى بالرمز $و_2$ ولبعده عن منتصف اللوح بالرمز $م_2$ يكون

$$\frac{\text{و}_1}{\text{و}_2} = \frac{\text{م}_1^2}{\text{م}_2^2}$$

ولكى يكون ميل اللوح الذى يحدث عليه الظلان على الأشعة واحداً بالنسبة الى المصدرين يلاحظ عند تهيئة الجهاز أن تكون زاوية ا هـ و مساوية زاوية ب هـ و وقد يستبدل باللوح الزجاجى النصف الشفاف فى هذا الجهاز صحيفة من الورق الأبيض الرقيق النصف الشفاف

١١ — فتومتر « رمفرد »[1]

يتركب من لوح رأسى حـ د (شكل ٨) من الزجاج النصف الشفاف قد وضع رأسياً أمامه قضيب اسطوانى أسود اللون مدلول لمقطعه فى الشكل بالحرف هـ



شكل (٨)

فاذا وضع أحد المصدرين عند ا والآخر عند ب أحدث كل منهما ظلا للقضيب وأضاء كل واحد الظل الذى يحدثه الآخر فاذا نظر الى الظلين من خلف اللوح وغير البعدان حتى يظهر الظلان متشابهين ضياء أو ظلمة ينتج كما فى البند السابق أن

$$\frac{\text{و}_1}{\text{و}_2} = \frac{\text{م}_1^2}{\text{م}_2^2}$$

ويستحسن عند استعمال الجهاز أن يوضع القضيب هـ فى موضع يجعل الظلين متلامسين غير منفصلين ولا متداخلين حتى تسهل المقابلة بينهما

وقد يستبدل باللوح النصف الشفاف صحيفة من الورق الابيض الرقيق النصف الشفاف أو من الورق الابيض المقوى وفى هذه الحالة الاخيرة ينظر الى الظلين من الامام

(١) هو Rum ford المخترع

١٢ — فتومتر « بنزن » (٢)

يتركب من قرص مستدير من الورق الابيض الغير المصقول قد جعل فى مركزه دائرة أو بقعة دهنية صغيرة (وقد يكفى للحصول على هذه البقعة الدهنية أن تقع قطرة واحدة من الشمع المنصهر على سطح الورقة ثم يزال الشمع بعد تجمده بحرف سلاح حاد) ويوضع القرص بين المصدرين اللذين يراد المقابلة بينهما بحيث يكون مستواه عمودياً على المستقيم الواصل بينهما ويكون مركز البقعة الدهنية واقعاً على هذا المستقيم

ولبيان الفكرة الاساسية التى ينبنى عليها عمل هذا الجهاز نفرض أن كسراً معيناً قدره ا من الضوء الواقع على البقعة الدهنية ينفذ خلالها الى الجانب الآخر والكسر الباقى وقدره (١ — ا) من الضوء الواقع عليها ينعكس عن سطحها . ولنفرض أيضاً أن كسراً معيناً قدره ب من الضوء الواقع على سطح الورقة ينفذ منها الى الجانب الآخر والباقى وقدره (١ — ب) ينعكس عنها ولننظر من أحد الجانبين إلى أحد سطحى هذه الورقة . يتضح أن جزءاً من الضوء الواقع على البقعة الدهنية من المصدر الموجود فى هذا الجانب وقدره ١ — ا تعكسه البقعة الدهنية وجزءاً من الضوء الواقع عليها من المصدر الموجود فى الجانب الآخر وقدره ا ينفذ خلالها الى الجانب الأول فاذا كان الواقع على وحدة المساحة من البقعة الدهنية من ضوء أحد المصدرين مساوياً الواقع على وحدة المساحة من ضوء الآخر كان مقدار الضوء المنبعث فى أى الجانبين من وحدة المساحة من البقعة الدهنية مساوياً ١ — ا + ا = ١ أى كسراً قدره الواحد مما يقع على وحدة المساحة من ضوء أحد المصدرين

كذلك يتضح أن جزءاً وقدره ١ — ب من الضوء الواقع على السطح الغير الدهنى من الورقة من أحد المصدرين ينعكس وجزءاً وقدره ب من الضوء الواقع من الآخر ينفذ فاذا كان الواقع على وحدة المساحة من أحد المصدرين مساوياً الواقع على وحدة المساحة من الآخر كان مقدار الضوء المنبعث فى أى الجانبين من وحدة المساحة من سطح هذه الورقة مساوياً ١ — ب + ب = ١

(٢) هو Bunsen المخترع

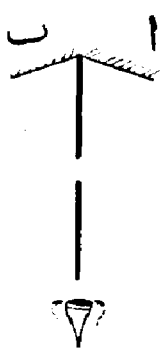
أى كسراً قدره الواحد مما يقع على وحدة المساحة من ضوء أحد المصدرين

واذن يكون الضوء المنبعث فى أى الجانبين من وحدة المساحة سواء أمن البقعة الدهنية أم من الأجزاء الغير الدهنية من الورقة واحداً واذن تظهر البقعة الدهنية وما يحيط بها من الأجزاء الغير الدهنية من الورقة لا تمييز بينهما اذا نظر اليها من أى الجانبين

فعند استعمال فتومتر بنزن يغير بعد المصدرين أحدهما أو كلاهما حتى اذا نظر الى البقعة الدهنية من أى الجانبين تظهر كباقى أجزاء سطح الورقة فيكون مقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن من أحد المصدرين على وحدة المساحة من السطح مساوياً مقدار الضوء الواقع فى وحدة الزمن من المصدر الآخر على وحدة المساحة من السطح و بالرمز لقوة اضاءة أحد المصدرين بالرمز $ق_1$ ولبعده عن سطح الورقة بالرمز $م_1$ ولقوة اضاءة الآخر بالرمز $ق_2$ ولبعده عن سطح الورقة بالرمز $م_2$ يكون

$$\frac{ق_1}{ق_2} = \frac{م_1^2}{م_2^2}$$

ويمتاز فتومتر بنزن ببساطة تركيبه . وعيبه أن البقعة الدهنية وان أمكن جعلها تظهر كسائر أجزاء سطح القرص اذا نظر اليها من أحد الجانبين فهى لا تظهر كذلك اذا نظر اليها من الجانب الآخر دون تغيير فى المواضع وعلة هذا قد ترجع الى أن البقعة الدهنية تمتص جانباً من الضوء النافذ فيها وأن صحيفة الورق تمتص جانباً من الضوء النافذ فيها وأن نسبة ما يمتص فى الحالتين ليست واحدة . والامتصاص قد أغفل فى الشرح المذكور . هذا فضلا عن أن أكثر الضوء الذى ينفذ من البقعة الدهنية ينفذ فى استقامة الضوء الواقع عليها من الجانب الآخر وهذا يجعل البقعة الدهنية يتغير ضياؤها تبعاً لتغير ميل خط البصر على مستوى القرص . ولذلك يفضل عند استعمال فتومتر بنزن أن تهيأ المواضع حتى تظهر البقعة الدهنية واحدة بالنظر اليها من الجانبين وليتيسر ذلك يستحسن أن يثبت بالقرص مرآتان ا ، ب (شكل ٩) بحيث اذا نظر والعين على

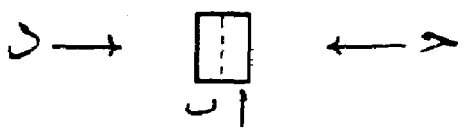


شكل (٩)

امتداد مستوى القرص رؤيت صورة لأحد جانبى البقعة الدهنية حادثة بالانعكاس عن المرآة فى هذا الجانب وصورة أخرى للجانب الثانى منها حادثة بالانعكاس عن المرآة فى الجانب الثانى ويكون ميل الاشعة المنبعثة من البقعة الدهنية والواقعـــة على المرآة ميلها على مستوى القرص واحداً فى الجانبين

١٣ — فتومتر « جولى » (١)

يتركب من قطعتين متماثلتين من شمع البرافين مثل ا ب ب (شكل ١٠) كل واحدة منهما على شكل متوازى مستطيلات والقطعتان



(شكل ١٠)

متلاصقتان وبينهما صفيحة من ورق القصدير ومخبأتان فى غلاف معتم يحجبهما من أعلى ومن أسفل ومن الخلف فاذا وضع مصدر ضوء عند حـ نفذ بعض ضوئه من الجانب الأيمن خلال القطعة ا فترى مضيئة اذا نظر اليهـا من الامام فى حين أن الضوء لا يبلغ القطعة ب وتبقى هذه مظلمة كذلك اذا وضع مصدر الضوء عنـد د ظهرت القطعة ب مضيئة وبقيت ا مظلمة واذا وضع مصدران أحدهما عند حـ والآخر عند د تظهر القطعتان مضيئتين فاذا غير البعدان حتى تظهرا مضيئتين بشـدة واحدة كانت نسبة قوتى اضاءة المصدرين كمربع نسبة بعديهما

ويلاحظ أن يوضع المصدران بحيث يكون المستقيم الواصـل بينهما ماراً بمنتصفى الجانبين المكشوفين عمودياً عليهما(٢)

---

(١) هو Joly المخترع

(٢) أنظر الباب السادس فيما يتعلق بالطرق الدقيقة لقياس قوى الاضاءة