بسم الله الرحمن الرحيم

الجزء الثاني

من كتاب حسن الصنعة في علم الطبيعة

الباب السابع

الدرس الخامس والعشرون

في الحرارة

تعاريف اولية تتعلق بالحرارة

في الآراء المتعلقة بالحرارة

عنصر الحرارة هو السبب الموجب لاحساس اعضائنا بالحرارة وبتأثيره في الأجسام سواء كانت آليّة أو غير آليّة يحلل اجزاءها ويغير حالتها فاما أن يذيبها أو يحيلها بخارًا أو يفصل عناصرها من بعضها

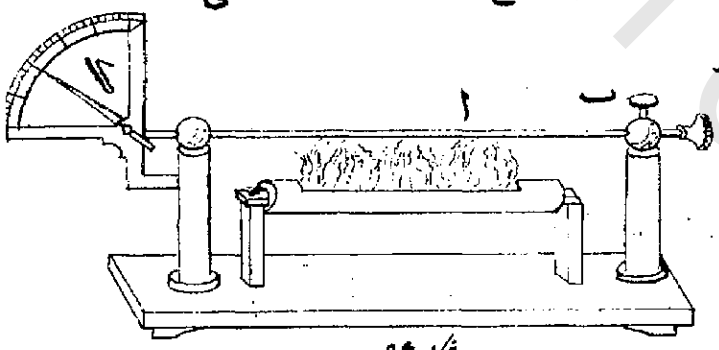
والآراء المتعلقة بالاحساس بالحرارة كثيرة أشهرها رأي السريان ورأي التموج فعلى رأي السريان يقال أن الحرارة سيال مادّي غير قابل للوزن يسري من جسم لآخر وعناصره في حالة الانتشار دائمًا وهذا السيّال يوجد في جميع الأجسام منفذا بجواهرها الفردة ويمنعها عن التماس الحقيقي

وعلى رأي التموج يقال أن الحرارة نتيجة حركة اهتزازية لعناصر الأجسام الحامية تنتقل لعناصر الأجسام الآخر بواسطة سيال دقيق جدًا في غاية المرونة يسمى بالاثير وانتقال الحركة فيه كانتقال الأمواج الصوتية في الهواء فالأجسام الحامية وهي التي تكون سعة اهتزازاتها كبيرة وسريعة تكون الحرارة نتيجة اهتزاز عناصرها فعلى رأي

السريان عناصر الأجسام التي تبرد تفقد حرارتها وعلى رأى التموج لا تفقد الا حركتها فقط والظاهر أن نظرية التموج هي المختارة عند المتأخرين من الطبيعيين لكن حيث أن رأى السريان يسهل البراهين ويصيرها مختصرة اختير عمومًا لتوضيح الحوادث الصادرة من الحرارة

التأثيرات العمومية للحرارة

التأثير العمومي للحرارة في الأجسام هو انتشار قوة دفعية بين عناصرها تضاد دائمًا الجذب الجوهري فينتج من ذلك أن الأجسام بتأثرها من هذا المؤثر تميل اولاً للتمدد أعني تميل لأن تأخذ حيزًا اكبر من حيزها ثم تتغير حالتها أعني أن تنتقل من الجمود الى الميوعة أو من الميوعة الى البخارية وجميع الأجسام تتمدد بتأثير الحرارة فيها واكثرها قبولاً للتمدد الغازات ثم الوائع ثم الجوامد وفي الأجسام الجامدة يعتبر التمدد الخطي أعني التمدد في بعد واحد فقط والتمدد الحجمي واذا حصل أحد التمددين حصل معه الآخر دائمًا ولا يعتبر في الوائع والغازات الا التمدد الحجمي ولبيان التمدد الخطي في المعادن يستعمل الجهاز المبين في الشكل الذي فيه ا قضيب معدني مثبت من أحد طرفيه ببرمة الضغط ب وطرفه الآخر يمس اقصر ذراعي ابرة ك متحركة على مينة وتحت القضيب مستوع اسطواني يلهب فيه الالكول والابرة ك تكون اولاً على صفر المينة وكلما ازداد حمو القضيب يشاهد ارتفاع الابرة فهذا دليل على أن القضيب قد ازداد طوله



شكل ٩٩

ولتبيين التمدد الحجمي تستعمل حلقة المعلم كراثيزاند وهي حلقة صغيرة معدنية يمر منها كرة من النحاس الأحمر قطرها كقطر الحلقة تقريبًا فاذا احميت الكرة على شعلة مصباح الكول لا يمكن أن تمر من الحلقة فهذا دليل على ازدياد حجمها

ولبيان تمدد الموائع تؤخذ قارورة صغيرة من زجاج ويلحم فيها انبوبة شعرية ثم تملأ القارورة وجزء من الأنبوبة بمايع فيشاهد انه بمجرد التسخين يرتفع المائع فى الانبوبة وتمدد الموائع اكبر من تمدد الجوامد دائماً

ويمكن استعمال الجهاز المتقدم لبيان تمدد الغازات وذلك أن تملأ القارورة هواء أو أى غاز ويدخل فى الأنبوبة دليل من الزيبق طوله من ٢ سنتيمتر الى ٣ فاذا حميت القارورة ولو بتقريب اليد منها يندفع الدليل نحو طرف الانبوبة وينتهى نحو وجه منها فيعلم من هذا أن الغازات كثيرة التمدد حتى أنها تتمدد بأقل حرارة

والأجسام فى هذه التجاريب المختلفة بمجرد تبريدها تنضم لجزائها وتأخذ حيزها الأصلى اذا رجعت الحرارة الى درجتها الاولى

فى الطقس

طقس الجسم حالته التى هو عليها من حرارته الطبيعية المدركة بالترمومتر بدون ازدياد ولا نقص فاذا ازدادت كمية الحرارة المذكورة أو نقصت يقال أن الطقس ارتفع أو انخفض

فى قياس الطقوس

فى الترمومترات

الترمومترات الات تستعمل لقياس الطقوس وتقدير تغيراتها

والاجسام المختارة للاستعمال فى الترمومترات هى الموائع وذلك لان الأجسام الجامدة ليست كثيرة التمدد والأجسام الغازية تمددها كثير جداً والموائع المختارة هى الزيبق والالكول اما الأول فلانه لا يغلى الا فى درجة مرتفعة من الحرارة وأما الثانى فلانه لا يتجمد بأعظم برودة

والترمومتر الزيبقى اكثر استعمالاً وهو مركب من انبوبة شعرية من الزجاج أو من البلور ملحومة بمستودع اسطوانى أو كروى ومن عادتها قد مُلئ مع جزء من الانبوبة من الزيبق وهناك مقياس

مدرج على الانبوبة نفسها أو على مسطرة بجذائها بين تمدد المائع كما في الشكل (١٠٣)

وانشاء الترمومتر يتركب من ثلاث عمليات غير لحم الأنبوبة بالمستودع الذي يعمل بواسطة مصباح البنزين وهي تقسيم الانبوبة الى اجزاء متساوية السعة وادخال الزيبق في المستودع والتدريج

في تقسيم الانبوبة الى اقسام متساوية السعة

دوال الترمومتر لا تكون مضبوطة الا اذا كانت تقاسيم المقياس الموضوع على الانبوبة مطابقة لتمددات متساوية من الزيبق الكائن في المستودع فمن المهم أن يكون المقياس مدرجا بحيث يدل على سعات متساوية في باطن الأنبوبة فاذا كانت الانبوبة تامة الاسطوانية من الداخل كفى لتحصيل السعات المتساوية تقسيم طولها الى اجزاء متساوية لكن هناك أنابيب زجاجية متغيرة الاقطار حتى أن القطر في الانبوبة الواحدة يكون في أحد طرفيها اعظم منه في طرفها الآخر فينتج من هذا أن السعات المتساوية من الأنبوبة تتبين على المقياس باطوال لا متساوية فهذه الاطوال هي اللازم تعيينها ولاجل ذلك يبتدأ قبل ان تلحم الأنبوبة بالمستودع بادخال عمود من الزيبق طوله من ٢ سنتيمترا الى ٣ وتجعل حرارته ثابتة وتُعيَّن في الأنبوبة بحيث انه في كل نقلة يتقدم العمود بكمية تساوي طوله أعني أن احد طرفي العمود يشغل محل طرفه الآخر فاذا وضعت مسطرة منقسمة الى اجزاء متساوية بجذاء الانبوبة امكن تقدير الطول المشغول بعمود الزيبق بالتقريب من عشر الملليمتر فاذا وجد أن هذا الطول لا يتغير علم أن سعة الانبوبة واحدة واما اذا تغير الطول بأن أخذ في التناقص مثلا فهذا دليل على أن قطر باطن الأنبوبة ازداد واذا شوهد أن عمود الزيبق أظهر تغيرات في الطول بجملة ملليمترات بُدل الأنبوبة باخرى تكون اكثر انتظاما منها واذا كانت هذه التغيرات قليلة يلصق بطول الانبوبة ورقة تعلم عليها شرطة في محل النقط المشغولة بطرفي عمود الزيبق

بهذه الكيفية تدل الاقسام على سعات متساوية لانها تقابل حجما واحدا من الزيبق والمسافات الكائنة بين هذه الأقسام متقاربة جدا من بعضها بحيث يمكن اعتبار قطر الانبوبة ثابتا في كل منها

وبعد هذا تُقسَّم الأقسام الاول الى اقسام أصغر منها متساوية العدد والطول بواسطة آلة التقسيم وسيشاهد استعمال هذه التقاسيم لتكوين تدريج مضبوط فى الزمومتر

فى ملا الزمومتر

لادخال الزيبق فى الزمومتر يُلحَم فى الطرف العلوى من الانبوبة المستودع ح الذى يملأ بالزيبق ثم تمال الانبوبة قليلا ويمدد الهواء الذى فى المستودع بتسخينه بمصباح الكحول او بوضعه على شبكة مائلة ويجعل محاطا بجمر الفحم فيخرج جزء من الهواء فاذا تركت الأنبوبة لتبرد وجعلت رأسية الوضع ينقبض الهواء الباقى فيها ويجبر الضغط الجوى الزيبق على الدخول فى المستودع د مهما كانت قطر الانبوبة الشعرية غير أن دخول الزيبق لايستمر فى المستودع بل ينقطع بمجرد ما تصير قوة الهواء الباقى فى المستودع كافية لموازنة ثم يحمى ثانيا ويترك ليبرد ويدخل فيه كمية جديدة من الزيبق وتدام العملية هكذا الى ان لايبقى فى المستودع ء الا كمية صغيرة جدا من الهواء ولطردها يسخن الزمومتر الى أن يغلى الزيبق الذى فى المستودع فالبخار المتكون منه يخرج مع الهواء والرطوبة الكائنين فى الانبوبة والمستودع

فاذا ملئت الآلة هكذا من الزيبق الجاف النقى يزال اللحم ح ثم تنقل الأنبوبة من محله بأن تلحم نهايتها على المصباح لكنه ينبغى أن يسخن المستودع ء بحيث تخرج نصف الزيبق الكائن فى الأنبوبة او ثلثاه فان لم نعمل هذه الاحتراسات ينكسر الزمومتر بتمدد الزيبق فيه وكمية الزيبق اللازم اخراجها تكون كبيرة كلما كانت الآلة معدة لطقوس مرتفعة وينبغى ايضا تسخين المستودع ء فى اللحظة التى يراد فيها قفل الأنبوبة بحيث أن الزيبق الممتد يصل الى رأس الانبوبة فحينئذ لايبقى فى الزمومتر هواء وهذا لازم اذ بدونه ينكسر الزمومتر بسبب مايحصل من الهواء المضغوط من تمدد الزيبق (شكل ١٠٠)

فى تدريج الزمومتر

ينبغ ١٢٩ لتدريج الزمومتر أى تقسيمه الى درجات يجب أن يعين على الانبوبة نقطتان ثابتتان يبينا نطقتين

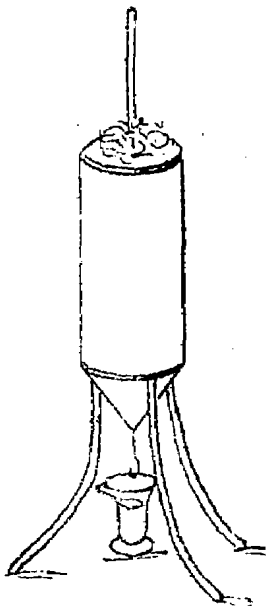
متقابلين

يسهل استرجاعهما

وحيث تبيّن بالتجربة كما سيأتي في محله أن طقس ذوبان الثلج واحد دائماً مهما كان ينبوع الحرارة وأن طقس غليان الماء المقطر واحد دائماً اذا كان تحت ضغط واحد وكانت عادة الظرف بعينها جعل طقس الثلج الذائب لأول النقطتين الثابتتين أعني لتبيين صفر المقياس وجعل طقس غليان الماء المقطر للنقطة الثانية التي يرمز لها بهذا العدد ١٠٠ بشرط أن يكون الضغط الجوي ٠٫٧٦ م وان يكون الماء المقطر موضوعاً في ظرف معدني فحينئذٍ عملية تدريج الترمومتر تتركب من ثلاث عمليات وهي تعيين الصفر وتعيين نقطة المائة (١٠٠) ورسم المقياس

شكل ١٠٠

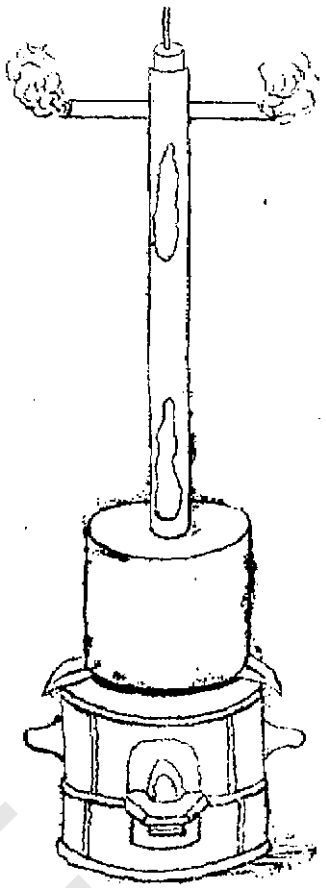
فلتعيين الصفر يؤخذ ماعون مثقوب من أسفله ويملاء بقطع الثلج فالماء الحادث من ذوبان الثلج يسيل من الثقب كما في الشكل (١٠١) ثم يغمس مستودع الترمومتر مع جزء من انبوبته في هذا الثلج نحو ربع ساعة تقريباً فينخفض عمود الزيبق أولاً بسرعة ثم يثبت فيعلم محل وقوف الزيبق بخدشه بقطعة من الماس أو برسم خط على شريط صغير من الورق يلصق أولاً على الأنبوبة فيكون هو محل الصفر


شكل ١٠١

ولتعيين نقطة المائة (١٠٠) يستعمل الجهاز المبين في الشكل (١٠٢) وهو ماعون من التنك عليه قصبة لها انبوبتان جانبيتان ليتصرف منهما البخار فيوضع الترمومتر

في باطن القصبة على اتجاه محورها ويحفظ بواسطة سدادة من الفلين تمر بها انبوبة الترمومتر فاذا ملئ نصف الماعون بالماء وسخن على فرن الى أن يغلى انتشر البخار وملأ القصبة واحاط بالترمومتر فيرتفع الزيبق فيه ثم يثبت فيعلم حينئذ محل تسوية الزيبق ويكتب فيه ١٠٠ وقد اضاف المعلم رينيو لهذا الجهاز قصبة ثانية من الثلك تحيط بالقصبة المحيطة بالترمومتر لاجل ان البخار المتصاعد يمر بين القصبتين فيحفظ القصبة الاولى من تبريدها بملامسة الهواء

شكل ١٠٢

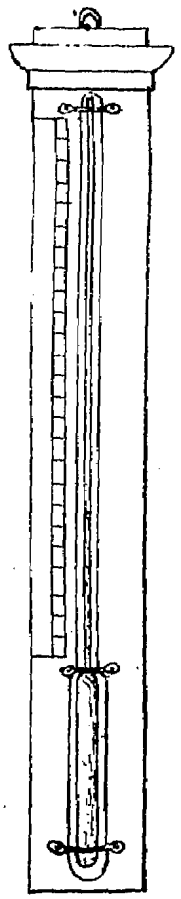


ويلزم في هذه تعيين نقطة المائة (١٠٠) من المقياس الترمومترى أى يكون ارتفاع البارومتر ٠٫٧٦ لانه تبين بالتجربة كما سيأتى في محله انه اذا كان ارتفاع البارومتر اكبر أو أصغر من ٠٫٧٦ يغلى الماء في طقس اكبر أو أصغر من ١٠٠ ومع ذلك يمكن تحصيل نقطة المائة بالضبط مهما كان الضغط الجوى بواسطة التصليح الذى اظهره المعلم بيوت وذلك لانه بين انه اذا ارتفع الزيبق في البارومتر بقدر ٧ ميليمترا يزداد طقس غليان الماء درجة واحدة واذا انخفض الزيبق في البارومتر بقدر ٧ ميليمترا ينقص طقس غليان الماء درجة واحدة كذلك فعلى هذا اذا كان ارتفاع البارومتر ٧٢٨ ميليمترا مثلا أى أنه زايد عن ٧٦٠ ميليمترا بقدر ١٨ ميليمترا أى ثلثاى هذا العدد ٧ يغلى الماء في باية درجة وثلثاى درجة فيجب حينئذ أن يكتب في محل تسوية الزيبق في الترمومتر ١٠٠ + ⅔

وقد لاحظ المعلم غايلوساك أن الماء المظروف في ظرف من زجاج يغلى بحرارة اعظم بقليل من الحرارة

التى تلزم لغليه اذا كان الظرف معدنيًا ولاحظ أيضًا أن الماء المحلول فيه املاح يغلى بحرارة اعظم من الحرارة التى تكفى لغليه اذا كان نقيًا فاختاروا الى الآن انه لتعيين نقطة المائة فى الترمومترات يشترط استعمال ماء ون معدنى وماء مقطر غير أنه تبين من استكشاف المعلم رودبيرك انه لا فائدة فى هذين الشرطين فانه عرف أن مادة الماء ون والاملاح المحلولة فى الماء تؤثر تأثيرًا عظيمًا فى طقس غليان الماء لا فى طقس البخار الناتج منه أعنى انه اذا كان طقس الماء اعظم من ١٠٠ بأحد السببين المذكورين يكون طقس بخاره ١٠٠ اذا كان الضغط ٠٫٧٦ فحينئذ لتعيين نقطة المائة من الترمومتر لا يلزم استعمال الماء المقطر ولا ماء ون معدنى بل يكفى أن يكون الضغط ٠٫٧٦ أو يعمل التصليح المتقدم وأن يغمر الترمومتر بتمامه فى البخار لا فى الماء المغلى

وايضًا اذا استعمل الماء المقطر لا يلزم أن يغمس مستودع الترمومتر فى الماء المغلى لان حرارة طبقاته ليست واحدة وذلك أن حرارة سطحه تكون ١٠٠ وحرارة الطبقة التى تحته تكون أعظم من ١٠٠ وكلما كانت الطبقة اسفل كانت حرارتها اعظم بسبب زيادة الضغط الواقع عليها


شكل ١٠٣

ولرسم المقياس نقسم المسافة التى بين الصفر والمائة مائة جزء متساوية السعة تسمى درجات ويدرج باقى طول المقياس كما فى الشكل (١٠٣)

واذا كانت انبوبة الترمومتر تامة الاسطوانية من الداخل كفى لرسم الدرجات تقسيم المسافة التى بين الصفر والمائة مائة جزء متساوية لكن حيث أن هذا الشرط غير متوفر غالبًا كان الواجب تقسيم الأنبوبة الى اجزاء متساوية السعة وتُعَدّ الاجزاء المحصورة بين النقطتين الثابتتين ويقسم عددها على ١٠٠ فينتج عدد الأقسام المكافى لدرجة واحدة وبهذا يتعين وضع كل درجة بالابتداء من الصفر والترمومتر المدرج بهذه الكيفية هو الترمومتر المائى

وتميز الدرجات بهذه العلامة ° وتوضع على يمين العدد الدال على الكسر فوقه بقليل وبالجملة لتمييز الكسور التي تحت الصفر عن التي فوقه تستعمل هذه الاشارة - (ناقص) فكتابة - ١٥° تدل على ١٥ درجة تحت الصفر

وفي الترمومترات المعدة للضبط ترسم الدرجات على انبوبة الترمومتر نفسها لانه بهذه الكيفية لا يتغير وضعها ولا طولها لكون تمدد الزجاج قليلاً جداً

ولرسم الدرجات والارقام على الزجاج تسخن انبوبة الترمومتر وتطلى بطبقة خفيفة من الوبرنيشة ثم تؤخذ قطعة مدببة من الفولاذ ويرسم بها على الوبرنيشة الدرجات والارقام المناظرة لها ثم تعرض الانبوبة لبخار حمض الفلوريدريك فيؤثر في الزجاج من المحال التي ازيلت منها الوبرنيشة ويظهر الدرجات والارقام

الدرس السادس والعشرون

في انواع الترمومتر

انواع الترمومتر كثيرة والمعتبر منها ثلاثة وهي الترمومتر المائي وترمومتر المعلم ريمور وترمومتر المعلم فهرنيت

فأما الترمومتر المائي فهو الذي ذكرنا كيفية عمله وهو المستعمل بكثرة في فرانسا وهو منسوب للمعلم سلسيو

وأما ترمومتر المعلم ريمور فالنقطتان الثابتتان فيه هما ايضاً النقطة المقابلة لدرجة ذوبان الثلج والنقطة المقابلة لدرجة غليان الماء غير أنه قسم المسافة التي بينهما الى ٨٠ درجة يعني أن ٨٠ درجة من مقياس ريمور تكافئ ١٠٠ درجة من المقياس المائي فعلى هذا التحويل درج معين من مقياس ريمور رمزه صـ الى درجات المقياس المائي توضع هذه المتناسبة ٨٠ : ١٠٠ :: صـ : س وبالعكس لتحويل درج معين من المقياس المائي رمزه صـ الى درجات من مقياس ريمور يقال ١٠٠ : ٨٠ :: صـ : سـ

واما ترمومتر المعلم فهرنيت ففيه النقطة الثابتة العليا هي النقطة المقابلة لدرجة غليان الماء وصفره

يقابل درجة البرودة التي تحصل من خلط ثقلين متساويين من مجروش ملح النوشادر والثلج والمسافة التي بينهما مقسومة الى ١٧٠ درجة فاذا وضع ترمومتر المعلم فهرنيت في الثلج الذائب وقف الزيبق فيه على ٣٢° فينتج من هذا أن ١٠٠ درجة من المقياس المائيني تكافئ ١٧٠ - ٣٢ أي ١٨٠ درجة من مقياس فهرنيت

فعلى هذا لتحويل درج معين من مقياس فهرنيت اكبر من ٣٢ درجة كعدد ٩٠ درجة مثلاً الى درجات من المقياس المائيني يطرح اولاً ٣٢ من الدرج المعين ثم توضع هذه المتناسبة

١٨٠ : ١٠٠ :: ٩٠ - ٣٢ : س ومنه ينتج أن س = ٥/٩ + ٣٢°

واذا كان عدد الدرج المراد تحويله أقل من ٣٢ كعدد ٢٤ مثلاً يطرح العدد المعلوم من ٣٢ ثم توضع هذه المتناسبة

١٨٠ : ١٠٠ :: ٣٢ - ٢٤ : س

و س = ٥/٩ + ٤° ومقدار س الحادث يبين طقساً تحت صفر المقياس المائيني

واذا كان عدد الدرج المراد تحويله سالباً يضاف عدد ٣٢ الى العدد المعلوم ثم توضع هذه المناسبة

١٨٠ : ١٠٠ :: العدد المعلوم + ٣٢ : س ومقدار س الحادث من هذه المتناسبة يكون سالباً دائماً لانه يبين طقساً منخفضاً عن صفر المقياس المائيني

وبالعكس لتحويل درج معين من المقياس المائيني الى درجات من مقياس فهرنيت توضع هذه المناسبة

١٠٠ : ١٨٠ :: عدد الدرجات المائينية : س ثم يضاف مقدار س لعدد ٣٢ ان كان عدد الدرجات المائينية المعلوم موجباً أو يطرح منه ان كان عدد الدرج المذكور سالباً

في تغير وضع صفر الترمومتر

١٤٦ ان الترمومترات المصنوعة بأعظم ما يمكن من التدقيق يعتريها خطأ معرفته مهمة وهو أن الصفر مع طول المدة يميل لان يرتفع ارتفاعاً يصل في بعض الأحيان الى درجتين اعني انه اذا عمل ترمومتر ووضع بعد مضي اربعة اشهر أو خمسة في الثلج الذائب لا ينزل الزيبق الى صفر المقياس

وقد قيل في سبب ذلك أن الترمومتر من حيث أنه خال من الهواء ينقص حجم المستودع من الضغط الخارجي غير أنه شوهد أن الترمومترات المحتوية على كمية من الهواء تحتل كالتي لا هواء فيها

وقد قيل أيضًا أن عناصر الزجاج بعد انتفاخ المستودع لا ترجع لوضعها الأصلي الا ببطئ وهذا الرأي مبني على ما شوهد من عدم تغير وضع الصفر بعد سنتين أو ثلاثة غير أن تجاريب المعلم ديبرك دلت على أن تغير وضع الصفر يستمر مدة غير معينة

وقد شوهدت تغيرات فجائية في وضع الصفر غير التغير البطئ المتقدم ذكره وهو أنه اذا سخن الترمومتر الى مطعس رتفع ثم غمس في الثلج الذائب لا ينزل الزيبق لصفر المقياس ولا يرجع اليه الا بعد مدة

فحين يراد قياس طعس بالضبط يجب أولًا أن يحقق وضع الصفر في الترمومتر الذي يراد استعماله ويطرح مقدار ارتفاع الصفر من الطعس الظاهر على المقياس

وقد وجد المعلم رينيول أن الترمومترات الزيبقية المتوافقة في درجة الصفر وفي درجة المائة لا تتوافق بينهما بين الدرجتين وأن دوالها تتغير احيانًا بجملة درجات فظن المعلم المذكور أن هذا الفرق ناتج من عدم تساوي تمدد زجاج الترمومترات

في الحدين اللذين تستعمل بهما الترمومترات الزيبقي

١٢٧ الترمومتر الزيبقي هو المختار من جميع الترمومترات المؤسسة على تمدد الموائع لان تمدده اكثر انتظامًا من غيره ولان حجمه يزداد بين — ٣٦ و ١٠٠ زيادة مناسبة لشدة الحرارة

ولتعيين الدرجات المنخفضة عن — ٣٦ يلزم استعمال الترمومتر الالكولي لان الزيبق يتجمد في درجة — ٤٠ وكلما قرب من هذه الدرجة لا يكون تمدده منتظمًا أي لا يكون مناسبًا لشدة الحرارة

ودوال الترمومترات الزيبقية لا تتجاوز درجة ٣٧٠ لان الزجاج بعد هذه الدرجة يأخذ في اللين ويتمدد الزيبق بغير انتظام

في الترمومتر الالكولي

١٢٨ الترمومتر الالكولي لا يختلف عن الترمومتر الزيبقي الا في كونه مملوءًا بالكول ملونًا باللون الأحمر

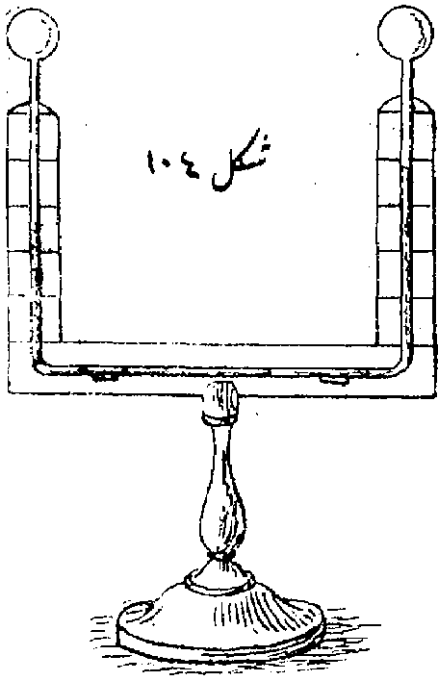
كالكحول ونحوه

وحيث أن عدد الموائع يقل انتظامه كلما قربت من طقس غليانها فالكحول الذى يغلى فى درجة ٧٨ يمتد انتظام بين الصفر والمائه ولا يتوافق مع الترمومتر الزيبقى الا فى درجة الصفر ودرجة المائه ويتأخر عنه بجملة درجات فيما بين الدرجتين المذكورتين فقد شوهد أن الطقس كان ٤٤ درجة حين كان الطقس بالترمومتر الزيبقى ٥٠ درجة

فالواجب حينئذ لتدريج الترمومتر الكحولى أن يقابل سيره بسير الترمومتر الزيبقى المجعول انموذجا ولذلك يسخنا معا تدريجا فى حمام وتعلم على الترمومتر الكحولى الدرجات التى يبينها الترمومتر الزيبقى والترمومتر الكحولى يستعمل بالخصوص لتبيين الدرجات المنخفضة جدا عن الصفر لانه لا يتجمد بأعظم برودة معلومة

فى الترمومتر الغرقى

سند ١٤٩ قد انشأ المعلم ليسلى ترمومترا هوائيا لمعرفة الفرق بين طقسى شيئين متقاربين ومن هنا سمى بالترمومتر الغرقى وهو مكون من انبوبة افقية ذات شعبتين قائمتين فى رأس كل شعبة كرة (شكل ١٠٤) وفيها مقدار من حمض الكبريتيك ملون باللعل يمنع استطراق الهواء بين الكرتين ومقدار الحمض المذكور كاف لان يملأ الشعبة الافقية ونصف كل من الشعبتين العموديتين تقريبا فمتى كانت حرارة الكرتين واحدة كان ارتفاع الحمض فى جانبى الجهاز واحدا وهذا المقياس مثبت على لوح من الخشب ذى جزئين قائمين تثبت على كل جزء منهما الشعبة العمودية المسماة بالشعبة البورية

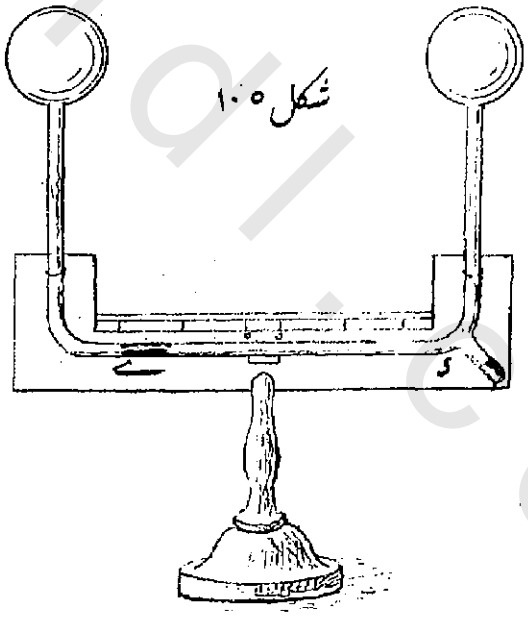

شكل ١٠٤

وهذا الترمومتر قوى الاحساس جدًّا فان ادنى زيادة فى حرارة احدى الكرتين البوريتين تمدد الهوآء المنحصر فيها فينخفض الحمض ولذلك كان يدرك بهذا الترمومتر الفرق الواهى جدًّا بين درجات الحرارة

وكيفية تدريج هذا الترمومتر أن تجعل حرارة الكرتين واحدة فتصير تسوية السائل فى جانبى الجهاز واحدة فيعلم حينئذ محل التسوية فى كل من الشعبتين الرأسيتين ويكتب فيه الصفر ثم تسخن احدى الكرتين بحرارة تزيد عن حرارة الكرة الأخرى بمقدار ١٠ درجات مثلاً فيتمدد هوا الكرة الاولى ويدفع عمود السائل فيرتفع فى الشعبة الأخرى ومتى استقر السائل يكتب ١٠ فى محل تسويته فى كل من الشعبتين ثم تقسم المسافة التى بين العشرة والصفر إلى عشرة أقسام متساوية وتمد التقاسيم فوق الصفر وتحته

فى المستقصية الحرارية

بند ١٢٠ المستقصية الحرارية آلة انشأها المعلم رومفور وهى كالترمومتر الغرقى مكونة من انبوبة افقية كما فى الشكل (١٠٥) ومن انبوبتين رأسيتين تنتهى كل منهما بكرة والأنبوبة الافقية فى هذا الترمومتر أطول من الرأسية ومقدار طول الحمض فيه قليل كسنتيمترين أو ثلاثة وصف التقاسيم يجازى وسط الأنبوبة الافقية والعادة أن يجعل فى احدى زاويتى هذه الألة مستودع صغير

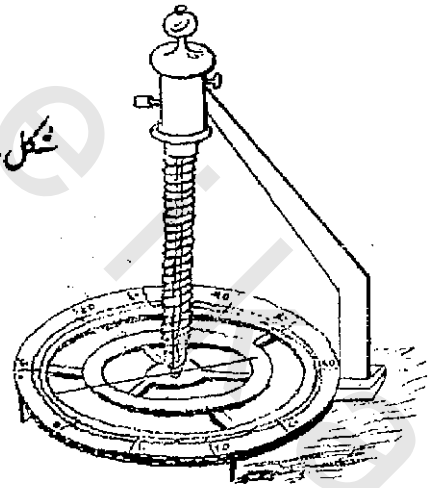

شكل ١٠٥

ك يدخل او يخرج منه الحمض حتى عند ما يراد تساوى كمية الهوآء فى الكرتين

فى الترمومتر المعدنى للمعلم بريكيه

هذه الألة مكونة من شريط معدنى عرضه ملليمتر واحد أو ملليمتران وهذا الشريط مكون من ثلاث

طبقات واحدة من الفضة وواحدة من الذهب وواحدة من البلاتين والتي من الذهب بين الآخرين لالتحامهما به وبعد التحامهما يصفح بالمصفاح ليتساوى سمكه حتى يصير جزأ من خمسين جزأ من المليمتر أو من مائة تقريبا ولذلك كانت الآلة المكونة من هذا الشريط تكتسب حرارة الهواء بمروره عليها ولحصر مقدار عظيم من هذا الشريط في مسافة صغيرة يلف على هيئة حلزون باطنه الفضة كما في الشكل (١٠٦) ويربط من اعلاه بقطعة من النحاس ويجعل في جزئه الأسفل عقرب خفيف جدا يتحرك على وجه مينة مرسوم عليه درجات ويكون هذا الوجه حلقة يجول فيها الهواء من كل جهة بسهولة ويغطى جميع ذلك بناقوس من زجاج ليصونه عن الاضطراب من الهواء الخارجي ومن حيث أن تمدد


شكل ١٠٦

الفضة أكبر من تمدد كل من البلاتين والذهب ينبسط الحلزون عند ازدياد الحرارة من الشمال الى اليمين بالنسبة للشكل المرسوم في (١٠٦) وينقبض عند نقص الحرارة وسبب وضع الذهب بين المعدنين الآخرين هو كونه يتمدد اكثر من البلاتين وأقل من الفضة

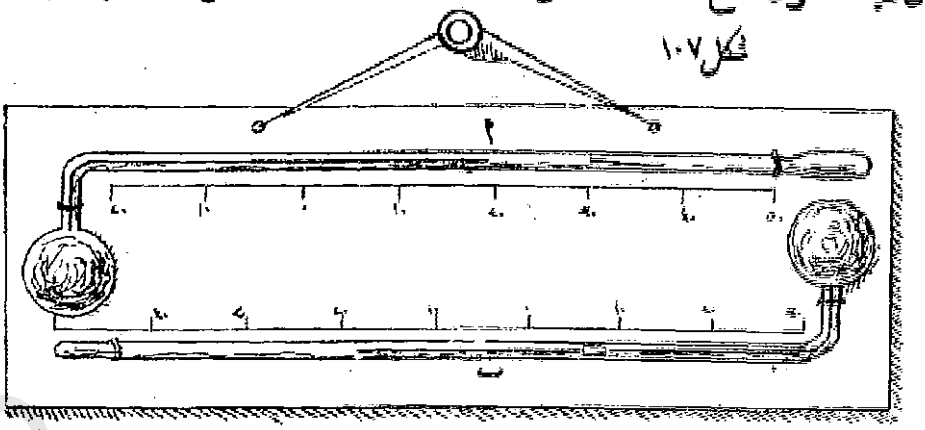
ورسم الدرج على هذه الآلة يكون بمقابلة سيرها بسير الترمومتر القوى الحركة المعتاد

في ترمومتر الزيادة والنقصان معًا

هذا الترمومتر يبين نهايتي حرارة الجو في الزيادة والنقصان في مدة معينة كيوم أو شهر أو سنة وأحسن اصناف هذا المقياس ما هو منسوب للعلم روتير فورد وهو مركب من أنبوبتين منفردتين عن بعضهما كل واحدة منحنية من أحد طرفيها ومنتهية بكرة مجوفة كما في الشكل (١٠٧) يثبتان بجزء بعضهما على لوح وفي اولاهما المرموز لها بحرف ا زيبق وفي الثانية المرموز لها بحرف ب الكول وفي الاولى اسطوانة صغيرة من الحديد او الفولاذ تجرى في قناتها فاذا اريد تشغيل هذه الآلة وجهت الاسطوانة نحو الزيبق حتى تمسه بهن الأنبوبة هزا الطيفا فاذا تمدد

الزيبق من زيادة الحرارة دفع امامه الاسطوانة واذا تقلص من نقصان الحرارة ذهب الى جهة المستودع

شكل ١٠٧



وترك الاسطوانة في المحل الذي كانت قد دفعت اليه وبذلك تدل الاسطوانة على مقدار ما زادت به الحرارة من الدرجات لانه يوجد بجزء الأنبوبة درجات مثل التي في المقاييس المعتادة فاذا ترك هذا المقياس مدة شهر مثلاً كانت الدرجة التي وقفت عندها الاسطوانة هي درجة ارتفاع الحرارة في الشهر المذكور

وأما الأنبوبة الثانية المحنية على الاكول فتبين ما نقصت به درجات الحرارة في المدة المذكورة وذلك لان اسطوانة الميتة تجري بسهولة في باطن السائل فاذا اريد تشغيل هذه الآلة تجعل رأس الاسطوانة مماسة لسطح السائل فاذا نزلت درجة الحرارة تقلص السائل وجذب معه الاسطوانة الى جهة المستودع لقوة الالتصاق بينهما

واذا ارتفعت درجة الحرارة جرى السائل حوالي الاسطوانة وتركها في المحل الذي جذبها اليه عند تقلصه فتبين درجة نزول الحرارة بواسطة الدرجات المرسومة بجزء الأنبوبة وكلما تقلص الاكول جذب الاسطوانة الى جهة المستودع

في البيرومتر اي مقياس حرارة النار الشديدة

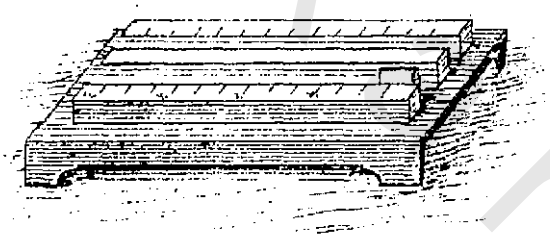
البيرومتر آلة لقياس درجات الحرارة المرتفعة جدًا المجاوزة لدرجة غليان الزيبق وتستعمل في الصنائع لمعرفة درجة الحرارة تقريبًا وأسهل انواع هذه الآلة في الاستعمال بيرومتر المعلم برونيار (شكله يقرب من شكل ٩٩)

وكيفية استعماله ان يركب قضيب طويل من حديد فى تنور كتنور الصينى فتمدده الحرارة فيدفع الطرف القصير من العقرب فيحركه على المينة المدرجة فاذا وصل العقرب الى نقطة وكان نضج الصينى بهذه الحرارة نضجًا جيدًا تكون درجة الحرارة اللازمة لتحميل الصينى الجيد هى التى وقف عليها العقرب

فى بيرومتر المعلم ويجود

هذا البيرومتر مؤسس على خاصية انقباض الطفل بالحرارة فاذا سحق وعجن عجنًا جيدًا وعملت منه قوالب اسطوانية قطر القالب منها ١٤٫٧ ميليمترًا وطوله من ١٤ الى ١٥ ميليمترا وجففت فى محل درجة حرارته مائة ثم سخن قالب منها بدرجة حرارة ما كان انقباضه على حسب درجة تلك الحرارة فعمل ويجود آلته هذه مقياسًا لمقدار ذلك الانقباض والآلة المذكورة مكونة من مسطرتين من نحاس أو من بلاتين توضعان على صفيحة معدنية بحيث يكون بينهما

شكل ١٠٨



قناة طولها ٦٠٩ من الميليمتر تقسم الى ٥٠٠ جزء متساوية هى درجات هذه الآلة وتدخل هذه القناة ١٤٫٧ ميليمترًا وعمقها ٧٫٦٢ ميليمترات فاذا سخن قالب من هذه القوالب وادخل فى القناة ووصل الى درجة من المائتين والأربعين كانت تلك الدرجة هى درجة الحرارة التى وصل اليها القالب لكن لا يعلم أن هذه الدرجة توافق أى درجة من المقياس المائينى غاية الامران المعلم ويجود قالا ان نصف هذا البيرومتر يقابل ٥٠٠ درجة من المقياس المائينى وكل درجة من البيرومتر تقابل ٧٢ درجة من المائينى وليس هناك طريقة لتحقيق هذا القول واذا اريد تقصير هذه الآلة تجعل القناة قناتين بزيادة مسطرة ثالثة توضع بينهما وما للقناة من المدخل والمنتهى والتقسيم يجعل للقناتين

مثال

اذا اريد معرفة درجة ذوبان النحاس مثلًا توضع احدى الاسطوانات مع النحاس فى بودقة

فعند ذوبانه ترفع الاسطوانة وتترك حتى تبرد ثم تنظر الدرجة الحادثة عند وضعها فى الآلة فاذا وصلت الى ٧٠ درجة مثلاً كانت درجة ذوبان النحاس ٧٠ من البيرومتر

ولتحويل درج معين من البيرومتر الطفلى لدرجات من المقياس المائينى يضرب العدد المعلوم فى ٧٠ ويضاف لحاصل الضرب ٥٠٠ فيكون حاصل الجمع هو الدرجات المطلوبة

الدرس السابع والعشرون

فى تشعع الحراره

فى انتشار الحرارة فى وسط متجانس

اذا وضع جسم فى وسط طقسه أكثر أو أقل من طقسه بناهد دائماً ان طقس الجسم يرتفع أو ينخفض شيأ فشيأ حتى يساوى طقس الوسط فيستنتج من ذلك أن الجسم اكتسب جزأ من حرارات الأجسام القريبة منه أو أنها اكتسبت جزأ من حرارته وان الحرارة تسرى من جسم لآخر مع البعد بينهما كما يسرى الصوت كذلك فالحرارة التى تسرى على بعد تسمى بالحرارة الشعاعية والشعاع الحرارى هو الخط المستقيم الذى تتحرك عليه الاجزاء الحرارية فى انتشارها

والحرارة تسرى ايضاً فى باطن الجسم من بعض اجزائه الى البعض الآخر وهذا يسمى بتوصيل الحرارة وسيأتى بيانه

ولتشعع الحرارة قواعد

الاولى أن الحرارة تتشعع فى جميع الجهات حول الجسم المشعع والدليل على ذلك انه اذا وضع تيرمومتر فى اوضاع مختلفة حول جسم ساخن ارتفع طقسه فى أى وضع منها

الثانية اذا سرت الحرارة فى وسط متجانس كان سريانها فيه على خط مستقيم والدليل على ذلك انه اذا وضع حائل على المستقيم الواصل بين ينبوع حرارى وتيرمومتر لا يتأثر التيرمومتر من الينبوع واما اذا مرت الحرارة من وسط الى آخر كما لو مرت من الهواء الى الزجاج مثلاً وزاغت الأشعة الحرارية

كانزوع الأشعة الضوئية وهذا الزوغان هو المسمى بالانكسار وسيأتي الكلام على قواعده في فن الأبصار

الثالثة الحرارة الشعاعية تنتشر في الفراغ كما تنتشر في الهواء والدليل على ذلك انه اذا ثبت تيرمومتر صغير في قرعة من زجاج ثم عمل الفراغ فيها وقرب لها جسم ساخن يشاهد ارتفاع الترمومتر فهذا دليل على تشعع الحرارة في الفراغ ولا يقال أن سخونة الترمومتر آتية من سريان الحرارة عن اجزاء القرعة الى الترمومتر لان الزجاج لا يوصل الحرارة توصيلاً جيداً كما سيأتي بيانه

الرابعة سرعة انتشار الحرارة لم تتحدد الى الآن غاية ما قيل انها ان لم تكن مساوية لسرعة الضوء لا تنقص عنها الا قليلاً وذلك لان الضوء الشمسي واغلب الاضواء الصناعية تصحبها اشعة حرارية

في الاسباب المغيرة لشدة الحرارة الشعاعية

الاسباب المغيرة لشدة الحرارة الشعاعية ثلاثة وهي طقس الينبوع الحراري وبعده وميل الأشعة الحرارية بالنسبة للسطح المقابل لها فمن هنا تنتج قواعد ثلاث متعلقة بشدة الحرارة الشعاعية

الأولى أن شدة الحرارة الشعاعية تناسب طقس الينبوع

الثانية ان شدة الحرارة الشعاعية تناسب عكس مربع البعد

الثالثة أن شدة الاشعة الحرارية تقل كلما كانت أكثر ميلاً عن السطح المقابل لها

فلتحقيق القاعدة الاولى نعرض احدى كرتي الترمومتر الفرقي لينابيع حرارية مختلفة وينظر لدوال الترمومتر فاذا اخذ مكعب من التنك وملأ اولاً بما طقسه ٣٠° وقربت له احدى كرتي الترمومتر الفرقي ثم ملأ ثانياً بما طقسه ٥٠° وقربت له الكرة المذكورة على بعد ما وبعدها الأول ثم ملأ ثالثاً بما طقسه ١٠٠° وقربت له الكرة المذكورة

على بعد ما وبعدها السابق يشاهد أن الطقوس التي بينها الترمومتر مناسبة للاعداد المذكورة

ولتحقيق القاعدة الثانية بالتجربة يوضع الترمومتر الفرقي على بعد معين من ينبوع حراري ثابتة ثم يضعف البعد فيرى أن الترمومتر في وضعه الثاني يبين طقسًا اقل من الطقس الذي بينه في وضعه الاول اربع مرات فاذا جعل البعد ثلاثة أمثال البعد الاول صار الطقس أقل من الأول تسع مرات

ويمكن تحقيق هذه القاعدة بالبرهان بأن يقال اذا وضع جسم ناخن في مركز كرة ثم وضع ايضًا في مركز كرة اخرى نصف قطرها اكبر من نصف قطر الاولى يشاهد أن كمية الاشعة الواقعة على سطح كل منهما واحدة وحيث أنه اذا كان نصف قطر الكرة الكبرى ضعف نصف قطر الكرة الصغرى يكون سطح الكرة الكبرى قدر سطح الكرة الصغرى اربع مرات ينتج أن شدة الحرارة الواقعة على وحدة السطح من الكرة الكبرى ربع الشدة الواقعة على وحدة السطح من الكرة الصغرى أعني أن شدة الحرارة المنبعثة من ينبوع واحد مناسبة لعكس مربعات الابعاد

ولتحقيق القاعدة الثالثة بالتجربة تؤخذ انبوبة من المقوى مسودة الباطن طولها نصف متر تقريبًا وتثبت افقية على حامل وتوضع في أحد طرفيها كرة ترمومتر فرقي ويوضع في طرفها الآخر مكعب من التنك مملوء ماء مغلي ١٠٠ بحيث يكون أحد اوجهه عمودًا على محور الأنبوبة فبهذا الوضع تكون الاشعة الحرارية الواصلة الى كرة الترمومتر والموازية لمحور الأنبوبة اعمدة على وجه المكعب فاذا بيّن عدد الدرجات الدالة على طقس الترمومتر عند ما يصير ثابتًا ثم ادير المكعب الى أن يصير الوجه الذي كان عمودًا على محور الأنبوبة مائلًا عنه تصير الاشعة الحرارية الموازية لمحور الأنبوبة مائلة عن وجه المكعب ويزداد مقدار الاشعة المنبعثة من السطح المشعع وذلك لان السطح المشعع في الوضع الاول يساوي لمقطع الأنبوبة العمودي على محورها وفي الوضع الثاني يساوي لمقطعها المائل عن المحور المذكور

وحينئذٍ تزداد كمية الاشعة المارة في الانبوبة وحيث لم يتغير طقس الترمومتر المغرق يعلم أن الاشعة المائلة اقل شدة من الاشعة العمودية

في موازنة الطقس الانتقالية

بند ١٢٧ هل الجسمان المختلفان في الطقس يدوم تشاععهما او ينقطع في ذلك رأيان الأول أن الجسم الاسخن يشع للآخر ولا يتشعع شيئ من الآخر له ويستمر هذا التشعع الى أن يصير طقس الجسم الأول مساويًا لطقس الجسم الآخر فعند ذلك ينقطع التشعع والرأى الثانى وهو مختار المتأخرين وينسب للعلم بريوست أن جميع الأجسام مهما كان طقسها تشعع دائمًا حرارة في جميع الجهات وحينئذٍ تبرد الاجسام التى كان طقسها ازيد من طقس الاجسام الأخر لان شدة الأشعة التى تبعثها الأجسام الحامية اقوى من شدة الاشعة الأتية لها واما الاجسام التى كانت أقل حموًا فانها تزداد حموًا الى أن يصير طقسها مساويًا لطقس الأجسام الأخر ولا ينقطع التشعع بل يكون مقدار ما يشعه الجسم مساويًا للمقدار المتشعع اليه من الجسم الآخر ويبقى الطقس ثابتًا وهذه الحالة هى المسماة بموازنة الطقس الانتقالية

في قاعدة نوتن المتعلقة بتبريد الأجسام

بند ١٢٨ الجسم اذا وضع في وسط فراغى لا يبرد ولا يتسخن الا بالتشعع فاذا كان في الهوآء فانه يتبرد أو يتسخن بالتشعع وبملامسة الهوآء وفي كلا الحالتين سرعة التبرد أو التسخن أعنى كمية الحرارة التى يفقدها الجسم او التى يكتسبها فى ثانية واحدة تكون كبيرة كلما كان فرق الطقسين عظيمًا

وقد ذكر المعلم نوتن قاعدة متعلقة بتبريد الأجسام وتسخينها فقال أن كمية الحرارة التى يفقدها الجسم او التى يكتسبها فى الثانية مناسبة للفرق الذى بين طقسه وطقس الوسط المحيط به غير ان المعلم دولنغ والمعلم بويت حكما بأن هذه القاعدة ليست عامة اذ لا تظهر الا اذا كان الفرق بين الطقسين من ١٥ درجة الى ٢٠ درجة واما اذا كان الفرق اكبر من ٢٠ درجة فان كمية الحرارة المفقودة او المكتسبة تكون اكبر من الفرق المذكور

وينتج من قاعدة نوتون نتيجتان الأولى ان الجسم اذا عرض لينبوع حرارة ثابتة لا يزداد طقسه بلا نهاية لان كمية الحرارة التي يكتسبها في اوقات متساوية متساوية بخلاف كمية الحرارة التي يفقدها فانها تزداد بتعاقب الزيادة طقسه عن طقس الهواء المحيط به فلا بد وان يمر عليه لحظة تصير فيها كمية الحرارة التي يكتسبها مساوية لكمية الحرارة التي يفقدها وحينئذ يبقى الطقس ثابتًا

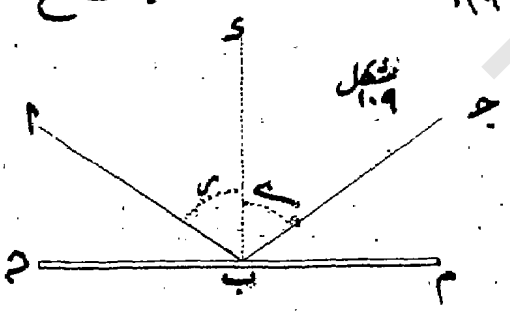
الثانية ان القاعدة المذكورة اذا طبقت على الترمومتر الفرقي يظهر أن دوال هذه الآلة اي الترمومتر المذكور تناسب كمية الحرارة الواقعة عليها ولايضاح ذلك نفرض ترمومترًا فرقيًا احدى كرتيه تتلقى الاشعة المنبعثة من ينبوع ثابت فيزداد طقس الآلة اولًا الى حد ثم يقف وعلامة وقوفه ثبوت الدليل في محله ففي وقت ثبوته تكون كمية الحرارة التي تتلقاها الكرة مساوية لكمية الحرارة الخارجة منها وحيث أن هذه الكمية الأخيرة مناسبة للفرق بين طقس الكرة وطقس الوسط المحيط بها (بمقتضى قاعدة نوتون) اعني مناسبة لعدد الدرجات المبينة بالترمومتر يكون الطقس المبين بالترمومتر الفرقي مناسبًا لكمية الحرارة التي يتلقاها الترمومتر المذكور

الدرس الثامن والعشرون

في انعكاس الحرارة وسيرانها وتشربها

في قواعد انعكاس الحرارة

١٣٩ اذا اسقطت اشعة حرارية على سطح جسم فانها تنقسم الى جزئين أحدهما يدخل في الجسم والآخر يرتد كما ارتدادًا كرة مرنة وهذا الارتداد هو المسمى بالانعكاس فاذا كان م ح السطح المستوى العاكس كما في (الشكل ١٠٩) و ا ب الشعاع الساقط و ب ء العمود على السطح م ح و ب ح الشعاع المنعكس



الشكل ١٠٩

سميت الزاوية ا د ء بزاوية السقوط والزاوية د د ح بزاوية الانعكاس أما نحن ذلك نعلم أن

انعكاس الحرارة وانعكاس الضوء منقادان لقانونين

الأول أن زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط

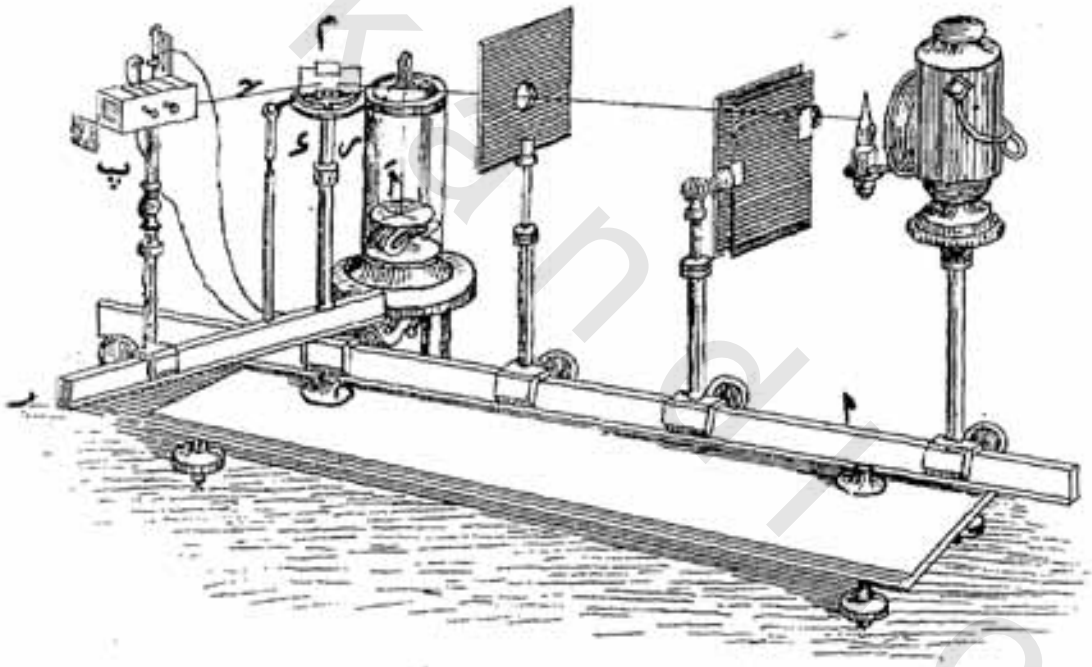
الثانى أن الشعاع الساقط والشعاع المنعكس يوجدان فى مستو واحد عمودى على السطح العاكس

وهذان القانونان يتحققان بواسطة الترمومولتبليكاتور المنسوب للعلم مبلوني (وهو هنا

بمنزلة ترمومتر قوى الاحساس جدًا) أو بواسطة عواكس المعلم ليلى ولنبين أولا طريقة

تحقيق الواسطة الاولى فنقول ــــ

شكل ١١٠



أن الجهاز الترمومترى ب المحمول على قائم كما فى (الشكل ١١٠) يصل تأثيره بواسطة سلكين من نحاس

لابرة منحركة على المينة أ وتعرف الطقوس بزوغان الابرة المذكورة وهناك مسطرتان من النحاس

ب ء ا مثبتتان ببعضهما بحيث يتكون منهما زاوية تتغير بالارادة الاولى تحمل الترمومتر والثانية

تحمل ينبوع الحرارة الذى هو هنا مصباح بلا زجاجة ويوجد على المحور الذى تتحرك حوله المسطرة

ب مينة ء معدة لقياس زاوية المسطرتين وذلك أن هذه المينة ثابتة بالنسبة للمسطرة

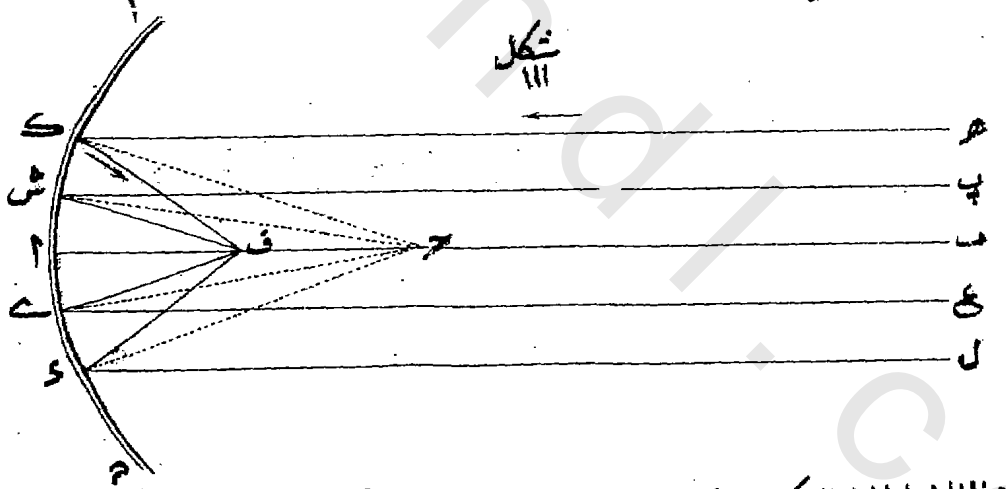
ا وصفرها يحاذى المسطرة والسن ح يتحرك مع المسطرة ب ليدل على تزحزح هذه المسطرة

وعلى الزاوية التي تكونت بينها وبين المسطرة الاخرى ويوجد مرآة مستوية م من معدن صقيل مثبتة في قرص يدور على مركز المينة ء وهذا القرص يحمل ابرة ر عمودية على المرآة م ويبين اتجاه الخط العمودي وحيث أن الجهاز الترمومتري پ لا يتأثر من الحرارة المنعكسة من المرآة الا اذا كانت هذه المرآة في الوضع الذي تكون فيه الابرة ر منصفة لزاوية المسطرتين عملت صحة القانون الأول وأما القانون الثاني فانه يتحقق ايضاً بوضع الجهاز لان الشعاع الساقط والشعاع المنعكس موجودان في مستوٍ واحد مواز لمستوى المينة ء فيكون عموداً على مستوى المرآة

في انعكاس الحرارة على المرايا المقعرة

بند ١٤٠ المرايا المقعرة أو العواكس هي سطوح كروية أو مكافئة من معدن أو من زجاج تستعمل لتجميع الاشعة الضوئية أو الحرارية في نقطة واحدة

شكل ١١١



ولا نتكلم هنا الا على المرايا الكروية فنقول ان الشكل (١١٠) يبين مرآتين من المرايا المذكورة والشكل (١١١) يبين قطاعاً رضيانيه المركز ج الذي هو مركز الكرة المتخذة منها المرآة يسمى مركز الانحناء والنقطة ا التي هي وسط العاكس تسمى مركز الشكل والمستقيم اب الممتد بين هاتين النقطتين يسمى المحور الأصلي للمرآة

ولتطبيق قوانين انعكاس الضوء والحرارة على السطوح المستوية على المرايا الكروية تعتبر مكونة من سطوح مستوية صغيرة جداً لا حصر لعددها وبهذا الاعتبار يمكن ان يبرهن بالهندسة على أن جميع الخطوط

العمودية على هذه السطوح الصغيرة تتلاقى كلها فى مركز الانحناء

اذا تقرر هذا نفرض على اب الذى هو محور المرآة م م ينبوع حرارة بعيد جدًا بحيث يمكن اعتبار الأشعة هـ ك ، ف ن ..... ﻫ المنبعثة منه متوازية وبمقتضى الفرض المتقدم الذى فرض فيه ان المرآة مكونة من سطوح مستوية صغيرة لا يمكن حصر عددها ينعكس الشعاع هـ ك على الجزء ك كانعكاسه على المرآة المستوية أعنى انه اذا كان ح ك الخط العمودى على هذا السطح يأخذ الشعاع الابتداء ك ف بحيث تكون الزاوية ح ك ف مساوية للزاوية ح ك هـ والاشعة الاخرى ب ش ، ع ك ..... ﻫ تنعكس بالكيفية عينها وجميع هذه الأشعة بعد انعكاسها يجتمع فى نقطة واحدة ف موضوعة على وسط ا م وسيأتى الدليل على ذلك فى فن الابصار فيوجد حينئذ فى النقطة ف التى هى مجمع الاشعة الحرارية حرارة درجتها اعظم من درجة الحرارة الكائنة فى النقط الاخرى ولهذا سميت هذه النقطة بالبورة والبعد ف ا الكائن بين البورة والمرآة يسمى البعد البورى

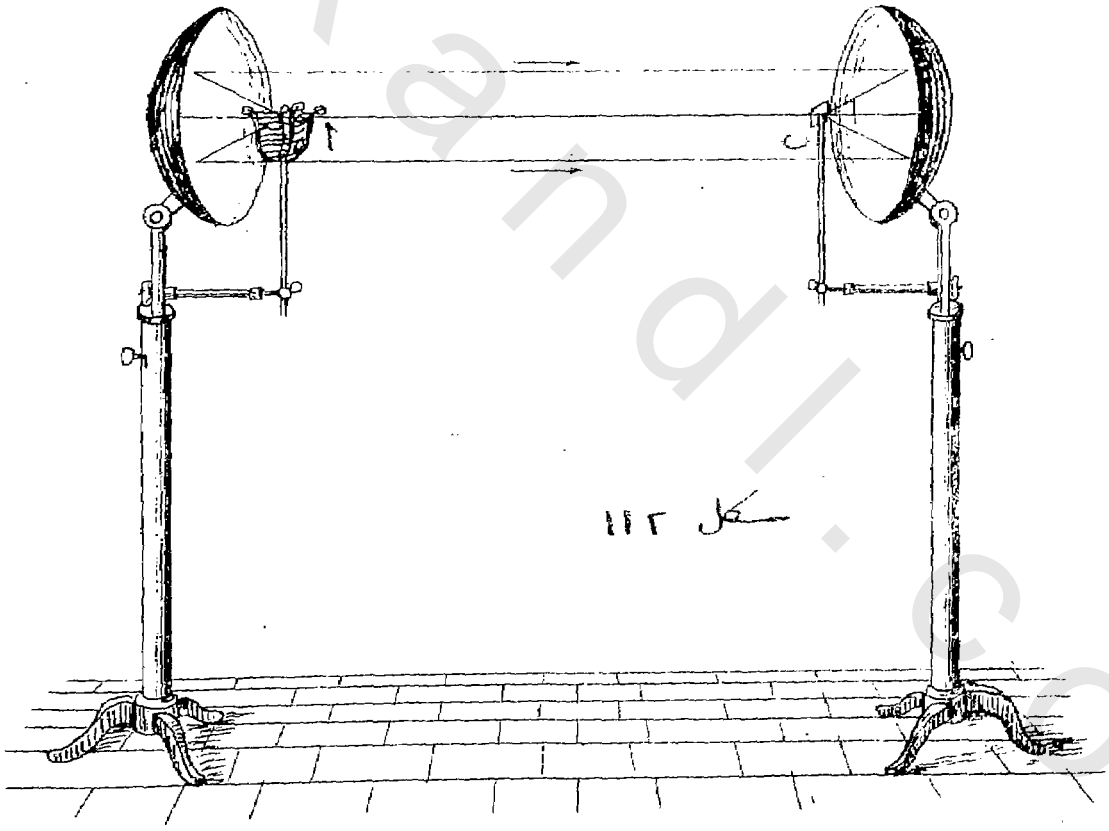
فى (الشكل ١١١) تنتشر الحرارة على حسب الاتجاه المبين بالخطوط هـ ك ف ، ل ك ف ..... ﻫ فى جهتى المهمين اما اذا كان الجسم الحار موضوعًا فى البورة ف فان الحرارة تنتشر على حسب اتجاه الخطوط ف ك هـ ، ف ك ل ..... ﻫ بحيث أن الاشعة المنبعثة من البورة تصير بعد الانعكاس متوازية وينتج من ذلك انها لا تفقد شدتها وهذه الخاصية نافعة جدًا فى العواكس

الكلام على تجربة المرآتين المتزاوجتين

٤١ وجود البور وقوانين انعكاس الحرارة تثبتها التجربة وكيفيتها أن يؤخذ عاكسان تجعل المسافة بينهما اربعة أمتار أو خمسة ويوضعان بحيث يتحد محور احدهما بمحور الآخر ويوضع فى بورة احدهما فحم بصاص يجعل فى شبكة من سلوك الحديد ومزها ا (كما فى الشكل ١١٢) ويوضع فى بورة الآخر

جسم سهل الانقياد ب كالصوفان مثلاً فالاشعة المنبعثة من الينبوع ا تنعكس اولاً على المرآة التي في بورتها الينبوع وتأخذ اتجاهاً موازياً للمحور وتنعكس ثانياً على المرآة الثانية وتجتمع في بورتها ب والدليل على ذلك انقياد قطعة الصوفان الموضوعة في هذه النقطة لانها لاتثقل اذا وضعت في نقطة امام البورة أو خلفها

وهذه التجربة تستعمل لاثبات أن قوانين انعكاس الحرارة والضوء واحدة وذلك ان يوضع في البورة ا شمعة موقدة ويجعل في البورة ب حائل من زجاج ازيلت صقالته فيشاهد على هذا الحائل بورة ضوئية هي التي يتقد فيها الصوفان فهذا دليل على ان البورة الضوئية والبورة الحرارية يتكونان في نقطة واحدة فيستنتج من ذلك أن قوانين الانعكاس في الحالتين واحدة



شكل ١١٢

في الانعكاس في الفراغ

١٤٧ الحرارة تنعكس في الفراغ كما في الهواء ويستدل على ذلك بتجربة المعلم داوى الانكليزي وهي الموضح

أن يوضع تحت مستودع الآلة المفرغة عاكسين صغيرين متقابلين ويوضع في بورة أحدهما ترمومتر قوي الاحساس وفي بورة الآخر ينبوع حرارة كهربائي أي سلك من بلاتين يجعل يصاصًا بأن يمر فيه تيار عمود كهربائي فيشاهد أن الترمومتر يزداد بجملة درجات فهذه الحادثة ناشئة من الحرارة المنعكسة لان الترمومتر لا تزداد درجته ان لم يكن في بورة العاكس الآخر بالإحكام

في انعكاس البرودة الصورية

بند ١٤٣ اذا وضع عاكسان متحاذيان كما في (الشكل ١١٢) ووضعت قطعة من الجليد في بورة احدهما وكانت درجة حرارة الهواء المحيط ١٢ درجة أو ١٥ مثلًا يشاهد أن الترمومتر المفرغ الموضوع في بورة العاكس الثاني يتبرد بجملة درجات وهذه الحادثة يظهر بادي الرأي انها ناشئة من انعكاس اشعة مبردة منبعثة من الجليد غير أن هذا الانعكاس الصوري تتبين حقيقته بما قيل في البند المتعلق بموازنة الطقس الانتقالية وذلك ان الترمومتر من حيث أنه اسخن الاجسام التي حوله تكون شدة الأشعة المنبعثة منه أقوى من شدة الاشعة المنبعثة من الجليد اليه وليس هناك تعادل بين الحرارة المنبعثة منه والمنبعثة اليه فيبرد وهذا هو سبب احساسنا بالبرودة اذا قربنا من أي جسم درجة حرارته أقل من درجة حرارتنا

الكلام على القوة العاكسة للحرارة

بند ١٤٤ القوة العاكسة للحرارة خاصية في الأجسام بها تتمكن الاجسام المذكورة من ان تعكس مقدارًا من الحرارة الساقطة يختلف قلة وكثرة

وهذه القوة تختلف باختلاف الأجسام ولاجل معرفة هذه القوة في الأجسام المختلفة بدون أن نعمل منها عواكس كثيرة عمل المعلم ليسلي تجاربه تتضح بالشكل (١١٣) فان ينبوع

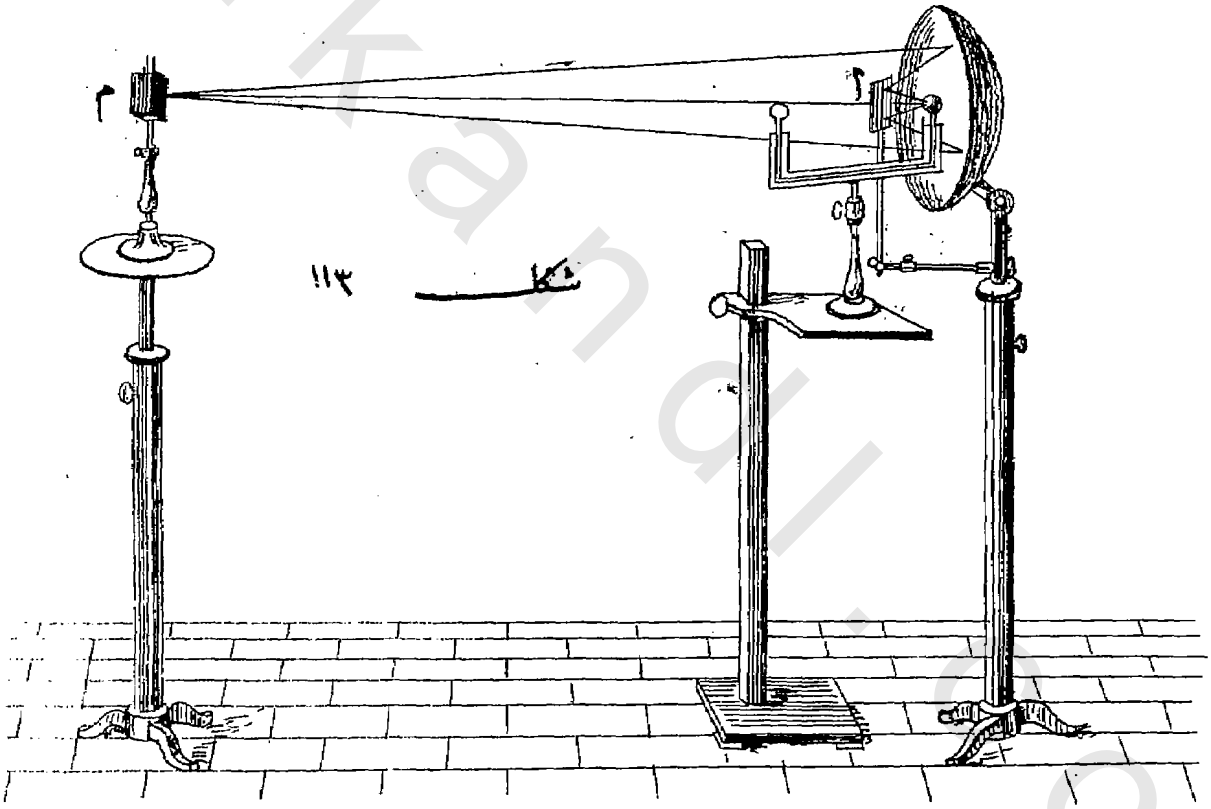
الحرارة فيه مكعب م ممتلئ ماء درجة حرارته ١٠٠ ع ا لوح من الجسم المراد معرفة قوته العاكسة وهذا اللوح مثبت على محور عاكس كروى بين البورة والمرآة فبهذا الوضع يشاهد أن الأشعة المنبعثة من الينبوع تنعكس اولاً من المرآة على اللوح ا وتنعكس منه وتكوّن بورتها بين اللوح والمرآة فى نقطة توضع فيها كرة المستقصية الحرارية وحيث أن العاكس والمستقصية الحرارية باقيان بعينهما ودرجة حرارة ماء المكعب ١٠٠ درجة يعلم أن الطفر الذى يبينه الترمومتر تغير على حسب طبيعة اللوح ا الذى يكون فى التجربة فبهذه الكيفية لا يتعين مطلق القوة العاكسة من جسم بل الذى يتعين انما هو النسبة بين قوة هذا الجسم وبين قوة عاكسة من جسم آخر جعل حداً للمقارنة وذلك انا اذا لاحظنا ما قيل فى تطبيق قاعدة نوتون على الترمومتر الغرقى من أن درجات الحرارة المبينة بهذه الآلة تناسب كميات الحرارة الواقعة عليها ينبنى عليه انه اذا تأثر الترمومتر الغرقى بمقدار درجة واحدة من لوح من الزجاج وتأثر بمقدار ست درجات من لوح من الرصاص يجب ان يكون مقدار الحرارة المنعكسة من الرصاص ستة امثال الحرارة المنعكسة من الزجاج لان كمية الحرارة المنبعثة من الينبوع واحدة والعاكس المقعر يعكس منها مقداراً واحداً فحينئذ يكون الغرق متعلقاً بقوة طبيعة اللوح العاكس ا

وبسبب هذا التفاوت انشأ المعلم ليسلى جدول القوى العاكسة النسبية فجعل النحاس الأصفر حد مقارنة وجعل قوته العاكسة مقدرة بمائة وهذه صورته

	قوة عاكسة
النحاس الأصفر	١٠٠
الفضة	٩٠
قصدير	٨٠
فولاذ	٧٠
رصاص	٦٠
حبر الشين	١٣
زجاج	١٠
زجاج مزيت	٥
زجاج مبلول بالماء	٠
هباب	٠

وقد بحث المعلم ميللونى عن القوة العاكسة فى الأجسام فعوض المرآت م التى فى الآلة المبينة فى (الشكل ١١٠) بالألواح المراد تجربتها وقدّر كمية الحرارة المنعكسة بزوغان الأبرة على المينة أ

وقد نتج من تجارب المعلم ليلى والمعلم ميللونى ان القوة العاكسة فى الأجسام المعدنية كبيرة جدًا عن القوة العاكسة فى غير المعدنية كما يتبين من الجدول السابق وقد بين المعلم ميللونى بجهازه ان القوة العاكسة فى الزيبق اقوى منها فى جميع المعادن وسيأتى بيان الأسباب التى تغير القوة العاكسة فى الجسم الواحد



شكل ١١٢

الكلام على القوة التشربية

١٤٥ بيد القوة التشربية فى الأجسام خاصية بها تتمكن الأجسام المذكورة من ان تتشرب مقدارًا كثيرًا أو قليلاً من الحرارة المنبعثة اليها بالتشعع

وهى ضد القوة العاكسة أعنى ان الجسم الذى يعكس كثيرًا من الحرارة يتشرب قليلاً

منها وبالعكس غير ان مجموع القوتين المذكورتين ليس مساويًا للساقطة يعني ان حاصل جمع كميتي الحرارة المنعكسة والمتشربة لا يساوي كمية الحرارة الساقطة بل هو اقل منها دائمًا ومن هنا يعلم ان الحرارة الساقطة تنقسم الى ثلاثة اجزاء جزء يتشربه الجسم والجزء الثاني ينعكس بانتظام اعني على حسب قوانين الانعكاس المتقدم ذكرها في (بند ١٣٩) والجزء الثالث ينعكس ايضًا بانتظام اعني في جميع الجهات ويسمى بالحرارة المتلاشية وسيأتي الكلام عليها في (بند ١٦٠)

وقد عين المعلم ليسلي القوة المتشربة في الأجسام بجهازه المرسوم في الشكل (١١٣) الذي استعمله سابقًا للبحث عن القوة العاكسة غير انه ازال اللوح ا ووضع كرة المستقصية الحرارية في بورة العاكس وهيّب كرة المستقصية المذكورة بالهباب ثم ازاله وورنشها ثم ازال الورنيشة وغشاها بغشاء من ذهب ثم عوضه بغشاء من فضة ثم من نحاس الخ فظهر له ان المستقصية المتأثرة من حرارة الينبوع م تبين طفسًا مرتفعًا كلما كان الغشاء المحيط بالكرة البورية كثير التشرب للحرارة

فبيّن المعلم المذكور ان القوة المتشربة في الجسم تكون عظيمة كلما كانت قوته العاكسة ضعيفة وفي هذه التجاريب لا يمكن استنتاج نسبة القوى العاكسة من نسبة الطفوس المبينة بالمستقصية الحرارية لان قاعدة نوتون لا تتمشى الا اذا كان الجسم واحدًا لا تتغير مادته والغشاء المغطى الكرة البورية هنا متغير في كل تجربة غير اننا سنشاهد في (بند ١٤٧) كيفية امكان استنتاج نسب القوى المتشربة من نسب القوى الأبرازية للحرارة

الكلام على القوة الابرازية للحرارة

١٤٦ بند القوة الأبرازية للحرارة في الأجسام خاصية بها تتمكن الأجسام المذكورة من ان تبرز مقدارًا كثيرًا أو قليلاً من الحرارة مع الأتحاد في السطح والطفس

وقد عين المعلم ليلى ايضًا بواسطة الجهاز المبين فى الشكل (١١٢) مقادير القوى الأبرازية للحرارة فى الأجسام وذلك انه وضع كرة المستقصية الحرارية فى بورة العاكس وجعل وجوه المكعب م من معادن مختلفة أو مغشاة بمواد مختلفة كالهباب والورق والماء الخ وملأ المكعب بالماء الذى درجة حرارته ١٠٠ وجعل بقية الشروط بعينها ووجه كل وجه من المكعب نحو العاكس بالتوالى وبين الطقوس المبينة بالمستقصية فظهر له ان درجة الحرارة المنبعثة من وجه المكعب المغشى بالهباب اكبر من درجة الحرارة المنبعثة من اى وجه من بقية وجوهه وان درجة الحرارة المنبعثة من وجوه المكعب المعدنية هى الأقل فاجرى المعلم المذكور قاعدة نيوتن وقدر كمية الحرارة التى تبرز من الهباب بمائة ومنع جدول القوى الأبرازية وهذه صورته

أسماء الأجسام	القوة الأبرازية
هباب	١٠٠
ماء	١٠٠
ورق	٩٨
شمع الأختام	٩٥
زجاج ابيض عادى	٩٠
حبر شين	٨٨
غرا السمك	٨٠
رصاص كالى	٤٥
زيبق	٢٠
رصاص دنيكابى	١٩

حديد صقيل	١٥
قصدير	١٧
ذهب	١٧
فضة	١٧
نحاس ... الخ	١٧

وبالتأمل فى هذا الجدول يشاهد ان ترتيب الأجسام فيه عكس ترتيبها فى جدول القوى العاكسة

الكلام على مقارنة القوى التشربية بالقوى الابرازية

١٤٧ بيد لا يمكن استنتاج القوة التشربية من القوة العاكسة لانه شوهد فى (بند ١٤٥) انهما ليستا مساويتين للساقطة غير انه يمكن تعيين القوة التشربية اذا اقيم الدليل على ان القوة التشربية والقوة الأبرازية فى الجسم الواحد متساويتان وقد اثبت ذلك المعلم دولنغ والمعلم پوتيت بالتجربة فاخذا قرعة كبيرة من الزجاج وجعلاها محفوظة فى درجة الصفر بغمسها فى الثلج وهيبا باطنها بالهباب وثبتا فيها ترمومترا سخناه اولا الى ١٥٠ درجة مئوية ثم وصلا القرعة بالألة المفرغة بواسطة انبوبة وفرغاها من الهواء الذى فيها وتركا الترمومتر ليتبرد تدريجا وعينا الزمن الذى يستغرقه الترمومتر فى نزوله من ١٥٠ الى ٥٠ ثم اعادا التجربة بالعكس اعنى انهما حفظا جدران القرعة فى درجة ١٥٠ وبردا الترمومتر الى درجة الصفر وعينا الزمن الذى يستغرقه الترمومتر فى صعوده من الدرجة الخامسة الى الدرجة العاشرة فتبين لهما ان هذا الزمن يساوى الزمن الذى استغرقه فى نزوله من الدرجة العاشرة الى الدرجة الخامسة فاستنتجا من هذه التجربة انه اذا كان

الفرق بين طقس الجسم وطقس الوسط المحيط به ثابتًا تكون قوته الابرازية مساوية لقوته التشربية لأن كميتي الحرارة البارزة والمتشربة في الزمن الواحد متساويتان

الكلام على الاسباب المغيرة للقوى العاكسة وللقوى التشربية وللقوى الابرازية

١٤٨ يشهد من حيث أن القوة الابرازية تساوي القوة التشربية بجميع الأسباب التي تغير احداهما تغير الاخرى بالضرورة ومن حيث أن القوة العاكسة ضد كل من القوتين المذكورتين بجميع الاسباب التي تزيدهاتين القوتين تنقص القوة العاكسة والعكس بالعكس

وقد ذكرنا أن هذه القوى المختلفة تتغير من جسم لآخر وأن القوة العاكسة في الأجسام المعدنية أعظم منها في غير المعدنية وان القوة المذكورة ضعيفة جدًا في الهباب غير أن هذه القوى في الجسم الواحد تتغير بتغير درجة صقالته وكثافته وسمك الجوهر المشعع وميل الأشعة الساقطة وطبيعة المشعوع

وطالما اعتقد المتقدمون أن القوة العاكسة تزيد كلما زادت درجة صقالة السطوح العاكسة وان القوتين الأخريين ينقصان بالعكس غير أن المعلم ميللر في أظهر انه اذا خدش لوح معدني صقيل تنقص قوته العاكسة تارة وتزيد تارة اخرى فحكم المعلم المذكور بأن هذا ناشئ من ازدياد أو نقص كثافة اللوح المعدني العاكس أي أنه اذا كان اللوح المذكور مندمج الاجزاء بواسطة المسحاب أو المصقل أو المطرقة يتغير انتظام تجانسه وذلك أن جواهر سطحه تتقارب من بعضها اكثر من تقارب الجواهر الأخر فتزداد القوة العاكسة وأما اذا خدش السطح فانه يظهر جزء من مادة الجسم الباطنة التي هي أقل كثافة من الاجزاء السطحية فتنقص القوة العاكسة وأما اذا أخذ لوح معدني متجانس الاجزاء غير مطروق ولا مصقع بالمصقل فان قوته العاكسة تزيد اذا بشر بالمبشرة وهذا ناشئ من ازدياد كثافة سطحه المتسببة عن تخديشه بالآلة

وسمك الأجسام المشعة يمكن ايضا ان يغير قوتها الابرازية كما يعلم ذلك بتجاريب المعلم ليسلى والمعلم رومفورد والمعلم ميلونى وذلك أن هذا المعلم لما اعاد بواسطة جهازه الذى هو ثيرموبيليكاتور تجاريب المعلمين الأولين تحقق عنده أنه اذا ورنشت وجوه مكعب معدنى مملوء ماء ذا طقس ثابت ازدادت القوة الابرازية بازدياد طبقات الويرنيشة الى ستة عشر طبقة ثم لا تزيد وان زاد عدد الطبقات والمحسب سمك هذه الطبقات الستة عشر وجده $\frac{1}{100}$ من الميلليمتر وانه اذا اخذت أوراق مذهب بعضها قدر سمكه ٨ من الف من الميلليمتر وبعضها سمكه ٤ وبعضها سمكه ٢ ووضعت على التعاقب على وجوه مكعب من زجاج كان مقدار نقص الحرارة المشعة واحدا

فاستنتج من هذا أن سمك الطبقة المشعة فى الأجسام المعدنية لا تأثير له

وقد أظهر المعلم ميلونى بواسطة جهاز المترسوا بليكون ذلك المذكور أن القوة التشربية تتغير بتغير طبيعة ينبوع الحرارة مع اتحاد مقدار الحرارة الساقطة فان المقدار الذى يتشربه كربونات الرصاص من الحرارة المنبعثة اليه من مكعب ملآن ماء أطقسه ١٠٠ يقرب من نصف المقدار الذى يتشربه من الحرارة المنبعثة اليه من مصباح وأما المقدار الذى يتشربه الهباب من الحرارة فانه لا يتغير بتغير طبيعة الينبوع

والقوة التشربية تتغير بتغير ميل الاشعة الساقطة فتكون فى نهايتها الكبرى حين تكون الاشعة الساقطة عمودية على السطح المتشرب وتقل كلما بعدت الاشعة الساقطة عن الاتجاه العمودى وهذا أحد الأسباب الموجبة لتسخين وجه الارض فى الصيف اكثر مما فى الشتاء لان الاشعة الشمسية تقل ميلها فى الصيف

تطبيقات

٤٩ تفيد القوى الماصة والتشربية والابرازية فوائد كثيرة فى التوفير فى الملابس وفى المنازل وفى الصنائع وذلك أنه اذا اريد انتخاب أنسب الملابس للشتاء أو الصيف تختار

الملابس البيض لان القوة التشربية فى الملابس البيض اقل منها فى السود فيكون مقدار الحرارة المتلاشى من الجسم الانسانى فى مدة الشتاء قليلاً وأما فى الصيف فانها تتشربه من حرارة الجو مقداراً أقل مما تتشربه الملابس السود وهذا هو السبب فى احساسنا بأنها أطرأ من غيرها ولعل هذا هو الحكمة الالهية فى بياض شعور حيوانات الاقاليم القطبية وأما الاوانى المعدة لتسخين المواثع مثل بكارج القهوة فاكان منها اسود السطح غير صقيل فهو أنفع من غيره لان قوته التشربية تزداد حينئذ وماكان منها مبيضاً لامعاً كما هى العادة الجارية فانه يحوج الى زيادة المصروف فى الوقود فاذا اريد حفظ ماتم حار زمناً طويلاً لزم أن يوضع فى آناء معد فى صقيل لامع لان قوته الابرازية تضعف حينئذ فيكون التبرد أبطأ

وحيث أن سكان الجبال كجبال الالب يعتادون ذوبان الثلج بتغطيته بالتراب يعلم من هذا أن التراب يزيد قوته التشربية

وفى مثل بيوت باريس يجب أن يكون السطح الظاهر من الاوانى المعدة للتسخين والجامر والتنانير اسود لتقوى قوتها الابرازية وأما بواطن الوجاقات للعدة لتذفية الاود فيجب ان تكون مبطنة بالواح من الصينى أو نحوها من الالواح المطلية بالطلاء الابيض الصقيل لتزداد القوة العاكسة نحو الاود

الدرس التاسع والعشرون

فى انتشار الحرارة الشعاعية فى الأجسام

أى نفوذها منها

الكلام على قوة تنفيذ الحرارة وتسمى القوة التنفيذية

(أى المنفذة للأشعة الحرارة)

بند ١٥٠ من الأجسام ما تنفذ فيه الحرارة الشعاعية بطريقة كطريقة الأجسام الشفافة

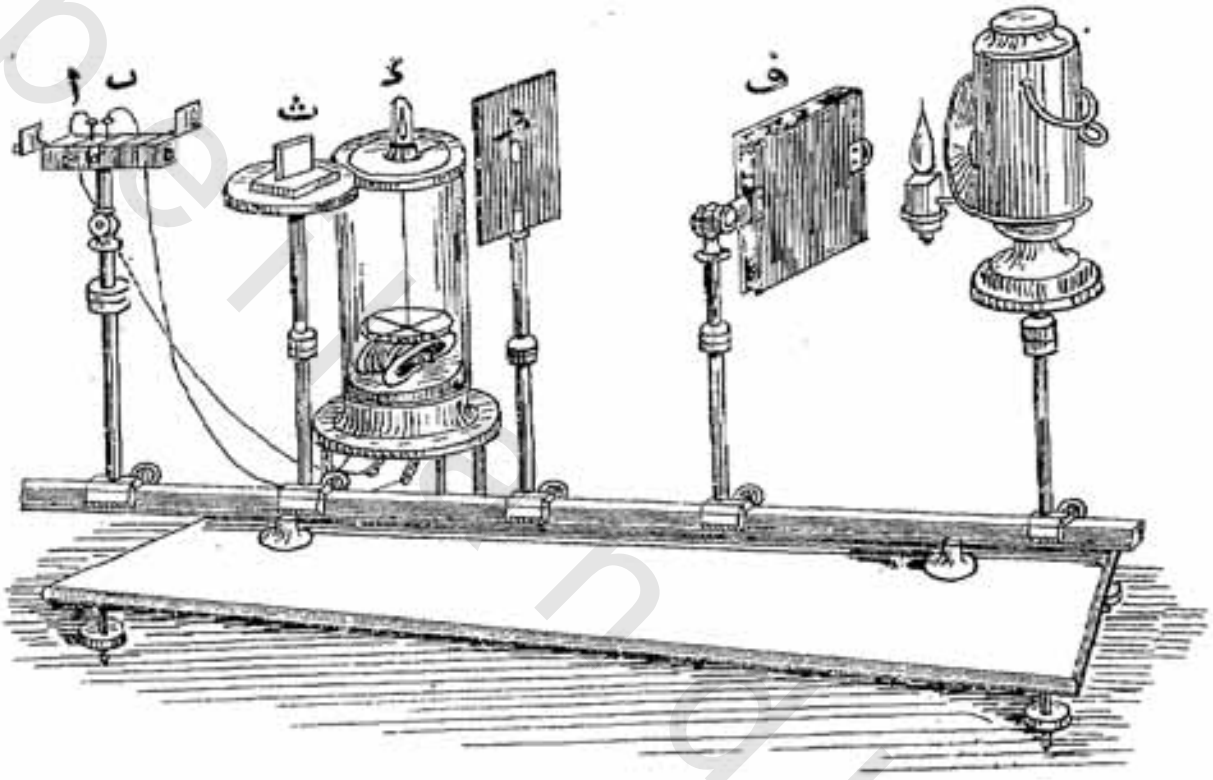
التي ينفذ منها الضوء ومنها ما هو مجرد عن هذه الخاصية اولا توجد فيه الا بدرجة ضعيفة جدًا وتسمى الأجسام الأول بالمنفذة والاخر بالمانعة فالغازات اكثر الأجسام تنفيذًا للحرارة والأجسام المعدنية مانعة بالكلية ثم أن الحرارة الشعاعية والضوء وان كانا متشابهين الا أن الأجسام الشفافة ليست دائمًا اكثر تنفيذًا للحرارة ولا الأجسام المعتمة دائمًا مانعة لها

وقد استكشف المعلم بريوست في جنوه والمعلم دولاروش في فرانسا في سنة ١٨١١ وسنة ١٨١٤ مدة حوادث من الأجسام المنفذة غير أن المعلم ميلاوني هو الذي أظهر في سنة ١٨٣٤ بواسطة جهازه الترمومتري البديع نظرية تامة في خواص التنفيذ من الأجسام الجامدة والمائعة

وقد شاهدنا استعمال النيرمومولتيبلي كاتور المنسوب للمعلم ميلاوني في اثبات قوانين الانعكاس (كما في الشكل ١١٠) وما هو مرسوم في الشكل ١١٤) يبين كيفية وضع الترمومتر المذكور لاجل معرفة خواص الأجسام المنفذة وذلك أن المسطرة الافقية التي فيه من النحاس وطولها نحو المتر يثبت فيها خمسة حوامل من النحاس الاول منها بالابتداء من جهة يمين الرسم يحمل مصباحا بلا زجاجة والثاني والثالث يحملان حاجبين معدنيين ف ر ه والرابع يحمل لوحًا أو حائلًا ث من الجسم المنفذ المراد تجربته والخامس يحمل الجهاز الترمومتري الذي يصل تأثيره الكهربائي بواسطة سلكين من النحاس آ و ت لابرة الكلوانومتر ء (وسيأتي بيان هذه الآلة في باب الكهربائية) وفيها ابرة تتحرك على مبنة فبنوعان الابرة تتقدر كمية الحرارة التي تنفذ من اللوح ث على حسب قوته التنفيذية قلة وكثرة والحائل ف عقب وينخفض (كما هو مبين في الشكل) عند ما يراد استعمال الآلة

وقد استعمل المعلم ميلاوني في تجاربه ينابيع حرارية أحدها مصباح بلا زجاجة ذو عاكس وذو تيار واحد من الهواء والثاني مصباح ذو زجاجة وذو تيارين من الهواء والثالث سلك من البلاتين ملتف على هيئة الحلزون ومحفوظ محميًا بواسطة شعلة مصباح الكولى والرابع مكعب صغير من النحاس الأحمر مسود من الظاهر ومملوء بماء طعمه ١٠٠ والخامس لوح من النحاس

الأحمر فسود وسخن الى ... تقريبًا بشعلة مصباح الكولى فيتغير الالواح المنفذة وينابيع الحرارة
أظهر المعلم ميلاون فى ظواهر نذكرها فنقول:



شكل ١١٤

الكلام على الاسباب التى تغير القوة التنفيذية

١٥١ الأسباب التى تغير القوة التنفيذية ستة أولها طبيعة الجسم المكونة منه الحوايل التى تنفذ منها الحرارة وثانيها درجة صقالة الحوائل المذكورة وثالثها سمكها ورابعها عدد الحوائل التى تنفذ منها الحرارة وخامسها طبيعة الحوائل التى نفذت منها الحرارة من قبل ذلك وسادسها طبيعة المنبوع

الكلام على تأثير مادة الحوائل

١٥٢ إذا اخذت موائع مختلفة ووضعت تحاقبة فى ظرف من زجاج وجوهه المتقابلة متوازية ومتباعدة بقدر ٠٫٠٠٦ ميلليمتر وعملت عليها التجربة وفورتة النوائج المتحصلة بواسطة الآلة حين تكون الموائع موضوعة بينها وبين البنبوع بالنوائج المتحصلة منها (أى من الآلة) حين تأتى الحرارة اليها بسرعة يشاهد كما فعل ذلك المعلم ميلاونى أن كل مائة شعاع من الاشعة الساقطة من المصباح المسمى لامب داركان (وهو ذو الزجاجة والتيارين من الهواء) ينفذ منها من كبريتور الكربون ٦٣ ومن زيت الزيتون ٣٠ وهكذا كما فى الجدول

كبريتور الكربون ينفذ منه	٦٣
زيت الزيتون	٣٠
الايثير	٢١
حمض الكبريتيك	١٧
الالكول	١٥
الماء المحلول فيه (السكر أو الشب)	١٣
الماء المقطر	١١

وقد أخذ المعلم ميلاونى جملة صفائح من الأجسام الجامدة القابلة للتصفيح سمك كل صفيحة ٠٫٠٠٦ ميلليمتر وجربها فوجد أن

الملح الجبلى ينفذ منه من كل مائة شعاع من الأشعة المذكورة	٦٩
والايسلاندى وزجاج المرايا	٦٧
والبلور الصخرى المسود بالهباب	٥٧
وكربونات الرصاص (الشفاف)	٥٢
والجير المكربت الشفاف	٤٠

والبقية

والشب الشفاف

وكبريتات الفناس

فمن النوافذ التي في هذين الجدولين يستنتج أن من الأجسام المعتمة أي التي لا ينفذ منها الضوء ما يكون نفوذ الحرارة منه جيدًا كالبلور الصخري المدبب ومنها الأجسام الشفافة جدًا ما يكون نفوذ الحرارة منه قليلًا جدًا وذلك ككبريتات الجير والشب وهذه التجارب توصلنا الى تسليم انه لا نسبة بين القوة التنفيذية والشفافة

الكلام على تأثير الصقالة

بند ١٥٣ القوى التنفيذية لحوائل تزيد بزيادة درجة صقالته فان المعلم ميلوني وجد أن دوال جهاز تغيرت من ١٩° الى ٥° بوضعه حوائل من زجاج ذات طبيعة واحدة وسمك واحد غير أنها مختلفة الصقالة

الكلام على تأثير السمك

بند ١٥٤ كمية الحرارة التي تنفذ من حوائل متفقة تتناقص كلما ازداد السمك غير أن تشربه للحرارة ليس مناسبًا للسمك ومعظم التشرب انما يحصل في الطبقات الأول وبقية الطبقات انما يكون تشربها للحرارة قليلًا حتى أنه بعد حد من السمك تكاد كمية الحرارة السارية ان تكون ثابتة

وقد بين ذلك المعلم ميلوني بالتجربة التي عملها على الواح من الزجاج الأبيض سمك احدها ١ وسمك الثاني ٢ وسمك الثالث ٣ والرابع ٤ فوجد أن اللوح الأول ينفذ من ١٠٠٠ شعاع ٦١٩ والثاني ينفذ ٥٧٦ والثالث ينفذ ٥٥٨ والرابع ينفذ ٥٤٩ وهذه الاعداد يكاد فاضلها ان ينعدم

الكلام على تأثير تعدد الحوائل

بند ١٥٥ تعدد الحوائل النافذة منها الحرارة يؤثر تأثيرًا مثل ما لها لازدياد السمك بمعنى أن التشرب يقل كلما تعددت الحوائل أو أن كمية الحرارة المتشربة تتناقص من حائل الى الذي يليه

واذا طُبِّقت جملة صفائح من نوع واحد فانها تمنع من الحرارة مقدارًا أكبر من المقدار الذى يمنعه لوح واحد سمكه يساوى مجموع سمكها واذا طُبِّقت جملة صفائح متنوعة فالتأثير الناتج منها لا يتعلق بترتيب تعاقبها

الكلام على تأثير طبيعة الحوائل التى نفذت منها الحرارة قبل وصولها للحوائل الاخر

بند ١٥٦ الاشعة الحرارية التى نفذت اولًا من جسم أو من جملة أجسام يعتريها تغيير به تتمكن من أن تنفذ بقلة أو كثرة من أجسام أخر منفذة للحرارة وقد جرب ذلك العلم ميلونى وقارن بين النوابح المتحصلة من المصباح المسمى لامب داركان الذى شعلته محاطة بزجاجة وبين النوابح المتحصلة من المصباح المسمى لامب لوكايتللى الذى شعلته بلا زجاجة وقد رعدد الاشعة الساقطة بماية فوجد هذه النوابح

اسما الاجسام	لامب داركان	لامب لوكايتللى
الملح الجبلى ينفذ منه	٩٢	٩٢
الاسبات الايسلاندى وزجاج المرايا	٦٢	٣٩
البلور الصخرى المهيب	٥٧	٣٧
الجير المكبرت	٢٠	١٤
الشب	١٢	٩

ويعلم من هذا الجدول أن حرارة المصباح المسمى لامب داركان النافذة من زجاجته اكثر نفوذًا من حرارة المصباح الآخر فيما عدا الملح الجبلى فان نفوذهما منه على السوية

الكلام على تأثير طبيعة الينبوع

سند ١٥٧ طبيعة ينبوع الحرارة تغير القوة التنفيذية كثيرًا وقد بين ذلك المعلم ميلوني وذلك انه استعمل أربعة ينابيع مختلفة وقدر عدد الأشعة النافذة بمائة فتحصلت له النواتج المذكورة في هذا الجدول

اسماء الاجسام	لامب لوكانبلي	بلاتين بصاص	نحاس محمى الى ٤٠٠ درجة	نحاس محمى الى ١٠٠
الملح الجبلي ينفذ منه	٩٧	٩٧	٩٧	٩٢
الايسيات الايسلاندي	٣٩	٧٨	٦	٠
زجاج المرايا	٣٩	٧٤	٦	٠
الجير المكبرت	١٤	٥	٠	٠
الشب	٩	٢	٠	٠

فهذا الجدول يدل على أن مقدار الحرارة النافذة من الأجسام الجامدة (ماعدا الملح الجبلي) يقل تبعًا لطفس الينبوع وينعدم اذا كان طفس الينبوع ١٠٠ والموائع في ذلك كالجوامد

الكلام على انواع الاشعة الحرارية

سند ١٥٨ الظواهر التي تحدث من الحرارة عند نفوذها من الأجسام حملت المعلم ميلوني على أن يفرض للحرارة فرضًا شابهًا للفرض الذي فرض منذ زمن طويل في الضوء فكما ان المعلم نوتون سلم ان عدة انواع الأشعة الضوئية سبعة وهي الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والكحلي والنيلي والبنفسجي التي تنفذ من الأجسام الشفافة لا بالتساوي ويمكن ان تتحد بعضها أو تنفصل عن بعضها كذلك المعلم ميلوني سلم في انه يوجد عدة انواع من الاشعة

الحرارية تنتشر معا (بمقادير مختلفة) من ينابيع الحرارة المختلفة وخاصيتها النفوذ بسهولة أو بصعوبة من الأجسام المنفذة للحرارة وهذه الأجسام تتلون حينئذ بلون حرارى أعنى أنها تتشرب بعض الاشعة وتُنَفِّذُ البعض الآخر وشبّه ذلك بالزجاجة الزرقاء فانه ينفذ منها اللون الازرق دون بقية الألوان

وتتضح نظرية المعلم ميلونى اتضاحًا جليًا على رأى الموجات بقبول أن خواص انواع الاشعة الحرارية صادرة من موجات مختلفة العدد أو من موجات حرارية مختلفة الطول

الكلام على تطبيق القوة التنفيذية

سند ١٥٩ لاشك أن الهواء منفذ جيد للحرارة (ولو لم نعلم تجربة قطعية تدل على القوة التنفيذية للغازات) لان جميع الحوادث الصادرة من الحرارة الشعاعية تحدث فيه ولشدة قوته التنفيذية تجد الطبقات العلوية من الجو باردة دائمًا مع أن الاشعة الشمسية نافذة منها دائمًا وأما الماء فانه يحدث منه فى جوف البحار والبرك عكس ما يحدث فى الجو لكونه جسمًا غير جيد التنفيذ أى أن الطبقات العلوية من البحار والبرك تكون عرضة للتغيرات الحرارية على حسب الفصول دون بقية الطبقات السفلى الكائنة بعد عمق ما فان طقسها يبقى ثابتًا

وتستعمل الأجسام المنفذة للحرارة لافتراق الضوء والحرارة المشعين معًا من ينبوع واحد فاذا هُذِّب الملح الجبلى فانه يمنع الضوء بالكلية وينفذ الحرارة واذا استعملت صفائح من الشب أو محاليله فانها تمنع الحرارة وتُنَفِّذ الضوء عكس الملح الجبلى المهذب وهذه الطريقة تستعمل كثيرًا فى الاجهزة المستضيئة بالأشعة الشمسية أو بالضوء الكهربائى عند الاحتياج لمنع الحرارة الشديدة

واستعمال النواقيس فى الجنائن لتغطية بعض النباتات مؤسس على خاصية القوة التنفيذية للزجاج المذكورة فى احد الجدولين المشروحين فى (سند ١٥٧) وذلك ان الزجاج يُنَفِّذ الاشعة الشمسية الحارة جدًا ولا يُنَفِّذ الاشعة الحرارية الضعيفة المتشعة

من

من وجه الارض

الكلام على الحرارة الملاشية

بند ١٦٠ قد ذكرنا فى (بند ١٤٥) أن الحرارة الساقطة على سطح جسم لاتنعكس بكليتها على حسب قوانين الانعكاس المشروحة فى (بند ١٢٩) بل جزء منها ينعكس بغير انتظام اى فى جميع الجهات حول نقطة السقوط وهذا ما يسمى بالحرارة الملاشية أو المتشتتة او المنعكسة بغير انتظام تمييزًا لها عن الحرارة التى تنعكس بانتظام

والعلم ميلونى هو الذى استكشف حادثة التلاشى بواسطة جهاز المسمى تيرمومولتيبليكاتور وذلك انه لما وضع الجهاز المذكور كما فى (الشكل ١١٠) أبدل المرآة المعدنية م بقرص من الخشب مبيض بالاسفيداج أو بالطباشير (اللذين لاقوة فيهما لعكس الحرارة بانتظام وقوة تشتيتها للحرارة عظيمة كما استدل على ذلك المعلم ميلونى بتجاربه) وحيث أن الجهاز الترمومترى پ الذى يتلقى تأثير الحرارة المنعكسة يمكن تحريكه حول العمود الممتد من نقطة سقوط الأشعة الحرارية بحيث يكون دائمًا مقابلها نحو هذه النقطة بالنسبة لزاويته مع الخط العمودى ثابتة فلم يشاهد المعلم المذكور تغيرًا محسوسًا تبين له بذلك أن الحرارة انعكست فى جميع الجهات

ولا يقال ان هذه الحادثة ناشئة من تسخين القرص لانه اذا جعل حائل بين ينبوع الحرارة والجهاز الترمومترى امتنع تأثيرها دفعة

ولا يحصل الانعكاس المنتظم الا من السطوح الصقيلة واما الانعكاس غير المنتظم فيحدث من السطوح الكابية أو الخشنة كالواح الخشب والزجاج والمعادن غير الصقيلة

وقوة التلاشى تتغير بحسب طبيعة الينبوع وطبيعة الاجسام العاكسة فاما الأجسام البيض فانها شديدة التشتيت للحرارة المنبعثة من ينبوع بصاص واما المعادن الكابية فان تشتيتها للحرارة اكثر من تشتيت الأجسام البيض

الدرس الثلاثون

فى توصيل الأجسام الجامدة للحرارة

وتوصيل المائعة والغازية لها

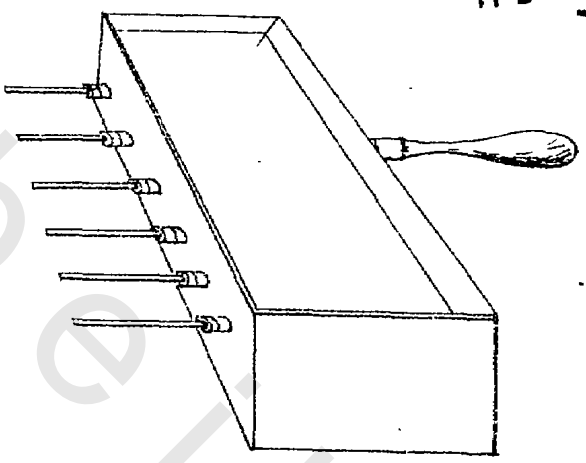
فى توصيل الاجسام الجامدة

بند ١٦١ توصيل الحرارة خاصية فى الجسم بها تتمكن الحرارة من سريانها من بعض اجزائه الى البعض الآخر والأجسام فى ذلك على نوعين منها ما هو موصل جيد ومنها ما هو موصل غير جيد فمن الاول الحديد فانك اذا اخذت منه قضيب طوله من قدم الى قدمين وسخنت أحد طرفيه سخن الطرف الآخر سريعًا ومن الثانى الخشب واللحم فان سريان الحرارة فيهما قليل جدًا حتى انه يمكن مسك كل منهما من قرب محل الالتهاب ومثلها الجواهر الترابية والجيرية والزجاجية والنباتية والحيوانية والارضية غير المعدنية والمواتع والغازات فهذه الأجسام كلها موصلات غير جيدة خصوصًا المواتع والغازات وأما الأجسام المعدنية فكلها موصلات جيدة ولجودها الذهب

ولاجل تعيين قوى التوصيل فى الأجسام الجامدة تؤخذ علبة أى صندوق من التنك ويثبت فيه (بواسطة انابيب لاقواهما سدايد) قضبان من جواهر مختلفة ابعادها المتناظرة متساوية بان يكون أحدها من حديد والآخر من نحاس والثالث من خشب والرابع من زجاج وهكذا ويخرج جزء يسير من هذه القضبان فى الصندوق ثم تغطى بالشمع الأبيض (الذى يذوب فى ٦٥°) ثم يصب فى الصندوق ماء وهو فى حال الغليان فيشاهد سريان الحرارة فى القضبان واذابتها للشمع على ابعاد مختلفة قلة وكثرة بحسب تفاوتها فى التوصيل

وقد بحث المعلم ديبرى عن قوة التوصيل فى الأجسام الجامدة بواسطة الجهاز المرسوم فى الشكل (١١٦) وهو قضيب منشورى مجوف فيه تجاويف صغيرة بعد كل تجويفة عن الأخرى ديسيمتر اى عشر متر تملأ بالزيبق ويغمس فى كل

شكل ١١٥

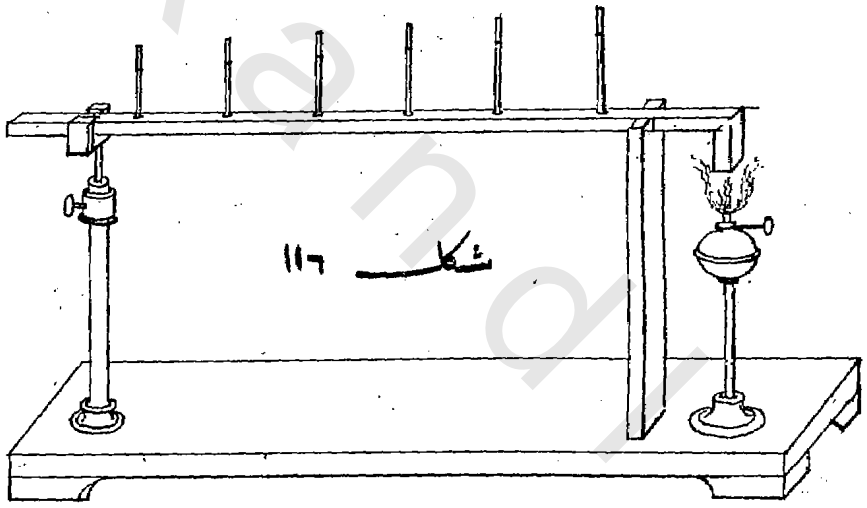


واحدة منها ترمومتر ويجعل أحدهما فى القضيب عرضة لينبوع حرارة ثابتة فيشاهد أن الترمومترات ترتفع درجة حرارتها على التعاقب بالابتداء من الينبوع ثم تقف على طقوس معينة لكنها متنازلة من ترمومتر الى الذى يليه وبهذه الكيفية حقق المعلم المذكور قانونا كان اول من ذكره المعلم لامبير من برلين وهو أن الأبعاد عن الينبوع تتزايد بمتوالية عددية وزيادات الطقوس من ملقى الهواء المحيط تتناقص بمتوالية هندسية

ولا يكون هذا القانون مضبوطا الا فى الأجسام المعدنية الجيدة التوصيل كالذهب والبلاتين والفضة والنحاس واما فى مثل الحديد والخارصينى والرصاص والقصدير فهو تقريبى واما الأجسام غير المعدنية كالمرمر والرخام والصينى ونحوها فلا يجرى فيها وقد قدر المعلم ديبرى قوة التوصيل فى الذهب بالف ونسب غيره له فوجد هذا الجدول

اسما الاجسام	قوة التوصيل
بلاتين	٩٨١
فضة	٩٧٣

نحاس	٨٩٨
حديد	٣٧٤
خارصيني	٣٦٣
قصدير	٣٠٤
رصاص	١٧٩
مرمر رخام	٢٤
صيني	١٢
طين الاجر	١١



شكل ١١٦

ثم ان المعلم دولار بؤمن جنوه بين ان قوة توصيل الاخشاب للحرارة في جهة عروقها اعظم بكثير من قوة التوصيل بالعرض وان الاخشاب الاكثر كثافة اكثر توصيلاً وان النخالة والتبن والصوف والقطن موصلات ضعيفة جداً

الكلام على توصيل الاجسام المائعة للحرارة

بند ١٦٤ توصيل المائعات للحرارة ضعيف جداً لانها لا تسخن جيداً الا اذا كانت فوق النار لانحتها بخلاف نحو الحديد فانه يسخن اذا وضع تحت النار

واذا وضعت

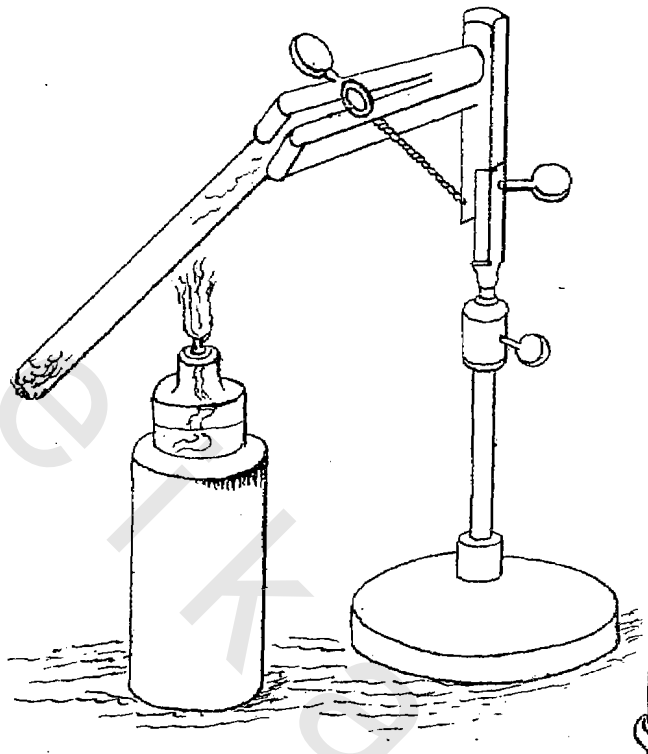
واذا وضعت السوائل على النار شوهد ارتفاع الاجزاء الساخنة منها الى اعلا ويظهر ذلك بوضع نشارة الخشب فى المائع كما فى الشكل (١١٨) فسخونة السطح العلوى من الاجزاء المرتفعة من الأسفل لاجل قوة التوصيل ومما يدل على ذلك أنه اذا اخذ ماعون من زجاج مثقوب من جانبه وادخل فى الثقب ترمومتر صغير ادخالا به يكون مستعرضًا فى جوف الماعون ثم صب فى الماعون ماء حتى يعلو فوق الترمومتر بخط أو بخط ونصف وصب فوق الماء مقدار من الالكول او الايتر ثم ألهب الالكول لايرتفع الترمومتر الا قليلًا ولو استمر اللهب فوقه مدة طويلة بامداد الالكول او الايتر الملتهب بمقدار جديد يصب على الموجود بواسطة انبوبة

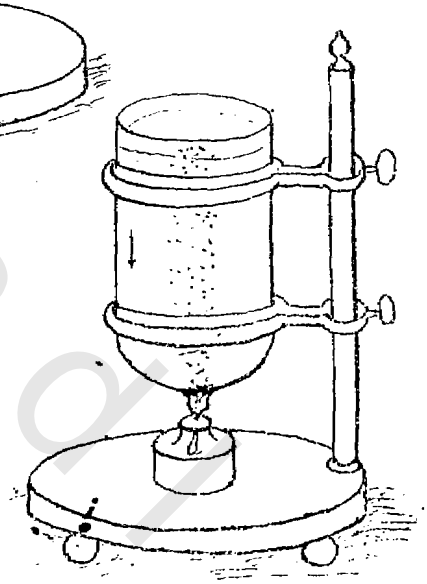
ويدل ايضًا على خفة توصيل المائعات للحرارة بهذه التجربة وهى ان تؤخذ انبوبة من الزجاج وتملأ ماء ويوضع فى فمها قطعة من الثلج وتسخن الانبوبة من طرفها العلوى بمصباح الكولى كما هى مصورة فى الشكل (١١٧) فيشاهد أن الثلج لا يأخذ فى الذوبان الا بعسر مع ان الماء الذى فى الطرف الثانى من الأنبوبة فى حال الغليان أى أن طقه ١٠٠ درجة

واما الزيبق فانه موصل جيد للحرارة وسبب ذلك كونه معدنيًا ولهذا اذا وضعت اليد فيه احست ببرد زائد عن الذى تحس به عند وضعها فى مائع آخر طقه كطقه

وليست قوة التوصيل فى الموائع معدومة بالكلية كما زعم بعض الطبيعيين لانه اذا وضع ماعون كالطست على سطح مائع وملئ الطست بماء درجته ١٠٠ ووضع اسفله ترمومتر قريب منه ازداد طقه زيادة قليلة بعد زمن ما ولا يقال أن سخونة الترمومتر ناتجة من نفوذ الحرارة من المائع لانا شاهدنا فى بند (١٥٧) ان الموائع مانعة للحرارة المنبعثة من ينبوع درجة حرارته ١٠٠

شكل ١١٧





شكل ١١٨

الكلام على كيفية تسخين المواثع

سند ١٦٣ اذا وضعت السوائل على النار سخنت منها الاجزاء السفلى وتمددت وخفت وصعدت فيما بين بقية الاجزاء فتكون منها تيار صاعد يظهر ويقوى كلما اشتدت سخونتها وبقية الاجزاء تظهرها بطء الى الاسفل ويتكون منها تيار نازل ثم اذا كثرت الاجزاء الصاعدة تجمعت وتزاحمت فى الصعود وقابلتها الاجزاء النازلة فتضطرب جملة السائل وتسخن من هذه التيارات الصاعدة والنازلة ويشاهد ذلك فيما اسقط فى الماء اجزاء من نشارة الخشب

الخشب فانها تصعد وتنزل تبعًا لصعود الاجزاء المائعة ونزولها كما فى الشكل (١١٨)

الكلام على توصيل الغازات للحرارة

بند ١٦٤ لا يمكن تبيين قوة توصيل الغازات للحرارة لكون قوتها التنفيذية عظيمة ولكثرة تحرك جواهرها غير انه اذا تعطلت عن حركتها يظهر أن قوة توصيلها للحرارة تكاد أن تنعدم وذلك أن جميع المواد التى يستقر الهواء فى خلال اليافها تقاوم انتشار الحرارة مقاومة عظيمة وذلك كالتبن والقش وريش النعام والعزاوى واذا سخن جسم غازى فاعظم سخونته انما هى من ملامسته بجسم ساخن ومن التيارات الصاعدة الناتجة من تمدده كما فى الموائع

تطبيقات

بند ١٦٥ اختلاف الأجسام فى توصيلها للحرارة نافع فى كثير من الأحوال فانه اذا اريد مثلاً حفظ مائع حار زمنًا طويلاً يظرف فى آنية ذو لفافتين تملأ المسافة التى بينهما بمادة غير موصلة للحرارة كنشارة الخشب أو الزجاج المجروش أو النحم كذلك أو التبن أو القش وهذه الطريقة تستعمل لمنع الجسم عن أن يتشرب الحرارة ولهذا اذا اريد حفظ الثلج فى الفصول الحارة يجب أن يحاط بالقش أو بغطاء من الصوف كالليباد ونحوه

واذا وضعت اليد على لوح من الزجاج أحست ببرودة زايدة عن التى تحسها اذا وضعت على جسم أقل اندماجًا منه كالخشب وماذاك الا لكون الزجاج موصلاً جيدًا بالنسبة للخشب ولذا يختلس من اليد حرارة اكثر من غيره فتحس بأنه أبرد الأجسام التى حوله ولو كانت درجة حرارة الجميع واحدة واما اذا كانت درجة حرارة الأجسام أعظم من درجة حرارتنا فاننا نكتسب مقدارًا من حرارة الجسم الموصل اعظم من المقدار الذى نكتسبه من الجسم الذى هو اقل توصلاً منه ولذا نحس بأن الموصل اسخن الأجسام التى حوله ولو كانت درجة حرارة الجميع واحدة ويشاهد ذلك فيما اذا عرض قضيب من الحديد للشمس

الدرس الحادى والثلاثون

فى تمدد الأجسام الجامدة

الكلام على التمدد الخطى والتمدد الحجمى وعلى مكرر التمدد

بند ١٦٦ قد ذكرنا سابقًا أن فى الأجسام الجامدة نوعان من التمدد وهما التمدد الخطى اعنى التمدد فى اتجاه واحد فقط والتمدد الحجمى أى الحجم

وأما مكرر التمدد الخطى فهو المقدار الذى تستطيل به الوحدة الخطية من الجسم اذا ارتفع الطقس من درجة الصفر الى درجة واحدة ومكرر التمدد الحجمى هو المقدار الذى تزداد به وحدة الحجم اذا ارتفع الطقس درجة واحدة فوق الصفر

وهذان المكرران يتغيران بتغير الأجسام غير أن مكرر التمدد الحجمى فى الجسم الواحد يساوى ثلاثة أمثال مكرر تمدده الخطى فاذا علم أحد المكررين تعين الآخر بضرب المعلوم فى ٣ أو بقسمته عليها

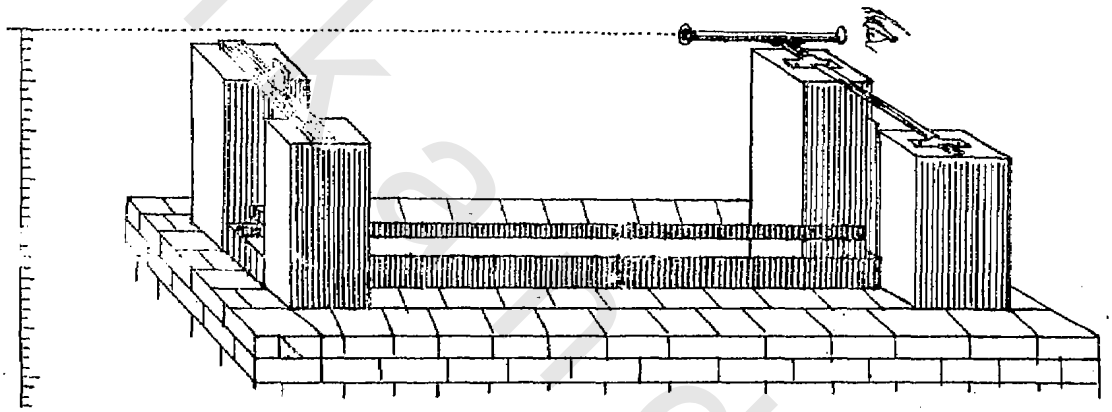
ولاثبات أن مكرر التمدد الحجمى فى جسم يساوى ثلاثة أمثال مكرر تمدده الخطى نفرض مكعبًا ضلعه يساوى واحدًا فى درجة الصفر وأن ل مقدار استطالة ضلعه من درجة الصفر الى درجة واحد فوقه فيكون مقدار طول الضلع المذكور فى درجة واحد هكذا ١ + ل وحجم المكعب الذى كان واحدًا فى درجة الصفر يصير فى درجة واحد هكذا $(١ + ل)^{٣}$ أى $١ + ٣ل + ٣ل^{٢} + ل^{٣}$ وحيث أن كمية ل دائمًا كسر صغير جدًا فمربعها ومكعبها يكونان كسرين صغيرين جدًا بحيث لا يؤثر حذفهما فى قيمة الكسور الأعشارية الدالة على مكرر التمدد الحجمى الا قليلًا جدًا فحينئذٍ يمكن حذفهما وبهذا يصير الحجم فى درجة واحد هكذا

$١ + ٣ل$ بالجليل من التقريب فظهر من هذا ان ازدياد الحجم يساوى ٣ل أى أنه ثلاثة امثال مكرر التمدد الخطى

الكلام على قياس مكررات التمدد الخطي

١٦٧ قد عين المعلم لافوازيه والمعلم لابلاس مكررات التمدد الخطي للمعادن بواسطة الآلة المرسومة في الشكل (١١٩)

شكل ١١٩



وهي مركبة من حوض من النحاس موضوع على قوت بين اربع كتل من الحجر اما الكتلتان الكائنتان في الجهة اليمنى من الشكل فيحملان محورًا أفقيًا في طرفه نظارة وفي وسطه مسطرة من الزجاج مثبتة فيه تدورمعه كالنظارة واما الكتلتان الآخريان ففيهما قضيبان من الحديد يحملان مسطرة اخرى من الزجاج فيوضع في الحوض ماء أو زيت يوضع فيه القضيب المراد قياس مكرر تمدده والمرسوم في الشكل (١٢٠) قطع الآلة فحرف ع دمز للنظارة و ك ش دمز للقضيب

بواسطة تيرمومتر وليكن ٨٠ درجة مثلاً فبواسطة هذه المعالم يسهل تعيين مقدار ش ح الذى هو ازدياد القضيب ولايضاح ذلك يقال حيث ان الزوغان الذى قدره ١٨٠ قسمًا من أقسام المرقى مطابق لزيادة من القضيب قدرها ٣ ميلليمترات تَحْصُلُ الزيادة ك المطابقة ١٤٠ قسمًا بهذه المناسبة

١٨٠ : ١٤٠ :: ٣ : ك فحينئذٍ ك = ٢ ميلليمترين

وحيث تعين الطول ش ح يَحْصُلُ مكرر التمدد الخطى أعنى الزيادة المطابقة لوحدة الطول فى درجة واحدة فقط بتقسيم الزيادة المتحصلة على حاصل ضرب طول مائع الحوض فى عدد ميلليمترات طول القضيب وهو فى درجة الصفر فاذا كان القضيب الذى فى التجربة المذكورة من الرصاص وكان طوله ٨٩٣ ميلليمترًا وجب أن يقسم ٢ على حاصل ضرب ٨٩٣ فى ٨٠ فيحدث ٠٠٠٠٢٨ وهو مكرر التمدد الخطى للرصاص

ومكرر التمدد الخطى فى الأجسام المعدنية ثابت فى كل درجة من الدرجات التى بين الصفر والمائة ويزيد فى الدرجات التى بين المائة والمايتين وزيادته فى الدرجات التى بين ٠٠ و ٢٠٠ اعظم من زيادته فى الدرجات التى بين ١٠٠ و ٢٠٠ وكلما قربت من درجة الذوبان كان تمددها اكثر كما تبين من تجاريب المعلم دولنغ والمعلم پوتيت واما الفولاذ المسقى فان مكرر تمدده يتناقص اذا جاوز نقطة حدًا معينًا من الحرارة

وهذا الجدول يتضمن مكررات التمددات الخطية فى كل درجة من الدرجات التى بين الصفر والمائة للأجسام المستعملة فى الصنائع بكثرة

اسماء الاجسام	مكور التمدد
بلاتين	٠٫٠٠٠٠٨٨٤٤
زجاج	٠٫٠٠٠٠٨٦١٢
فولاذ غير مستقى	٠٫٠٠٠١٠٧٨٨
حديد الزهر	٠٫٠٠٠١١٤٥٠
حديد ملس مطرق	٠٫٠٠٠١٤٤٠٤
فولاذ مستقى	٠٫٠٠٠١٤٣٩٥
ذهب	٠٫٠٠٠١٤٦٦٠
نحاس احمر	٠٫٠٠٠١٧١٨٤
برونز	٠٫٠٠٠١٨١٦٧
نحاس أصفر	٠٫٠٠٠١٨٧٨٤
فضه	٠٫٠٠٠١٩٠٩٧
قصدير	٠٫٠٠٠٠٢١٧٣٠
رصاص	٠٫٠٠٠٠٢٨٥٧٥
خارصينى	٠٫٠٠٠٠٢٩٤١٧

الكلام على القوانين المختصة بتمدد الأجسام الجامدة

سند ١٦٨ ليكن ل طول جسم وهو فى درجة الصفر و لَ طوله فى درجة ص و ك مكور تمدده الخطى فيكون مقدار تمدد وحدة الطول فى درجة ص هكذا ك ص ويكون مقدار تمدد الطول الذى هو ل هكذا ل ك ص فيكون

لَ = ل + ل ك ص ..... (١)

واذا وضع

واذا وضع ل مضروبًا مشتركًا يصير لَ = ل (١ + ك ص) ..... (٢)

وهذا القانون يستعمل لايجاد الطول لَ فى درجة ص بعد معرفة الطول ل فى درجة الصفر واذا قسم طرفا القانون الثانى على ١ + ك ص يحدث

$$ل = \frac{لَ}{١ + ك ص} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (٣)$$

وهذا القانون يستعمل لايجاد الطول ل فى درجة الصفر بعد معرفة الطول لَ فى درجة ص

ثم انه يستخرج من القانون الأول $ك = \frac{لَ - ل}{ل ص}$ ..... (٤)

وهذا القانون يستعمل فيما اذا اريد تعيين مكرر التمدد الذى هو ك

مسائل مختصرة بالتمدد

سند ١٦٩ المسئلة الاولى قضيب من الحديد طوله ٦ر٢ مترات وهو فى درجة الصفر فايكون طوله فى درجة ٨٠

فالجواب ان هذه المسئلة تحل بالقانون الثانى من قوانين التمدد الذى هو

لَ = ل + ل ك ص بابدال الحروف التى فيه بمقاديرها وهى ل = ٦ر٢ متر ن ص = ٨٠ درجة ن ك = ٠ر٠٠٠٠١٧٧ فيكون

لَ = ٦ر٢ متر (١ + ٨٠ × ٠ر٠٠٠٠١٧٧) أى لَ = ٦ر٢ متر × ١ر٠٠٠٩٧٦ = ٦٠٧٥ر٢ متر

بمعنى ان مقدار الزيادة الحادثة من التمدد تساوى ميليمترين ونصفًا

المسئلة الثانية قضيب من النحاس طوله ٤ر٣ امتار وهو فى درجة ٩٠ فايكون طوله فى درجة الصفر

فالجواب أن هذه المسئلة تحل بالقانون الثالث من قوانين التمدد الذى هو

ل = $\frac{لَ}{١ + ك ص}$ بتبديل الحروف التى فيه بمقاديرها وحيث ان

لَ = ٤ر٣ امتار ن ص = ٩٠ درجة ن ك = ٠ر٠٠٠٠١٧٧

يكون ل = $\frac{٣٫٤ \text{ امتار}}{١٫٠٠٠٫٠٠٠٫٠٠٠ + ٩٠٨}$ = ٣٫٤٩٦ امتار أعني أن مقدار الانقباض الذي حدث في القضيب يساوي ٦ ميليمترات

المسئلة الثالثة قضيب معدني طوله ل في درجة ص فما يكون طوله لَ في درجة صَ

فالجواب أن هذه المسئلة تحل بالبحث عن طول القضيب في درجة الصفر ثم بالبحث عن ما يؤول اليه الطول المذكور في درجة صَ

فاذا رمزنا بالحرف لـ لطوله في درجة الصفر نجد

ل = لـ (١ + كص) و لـ = $\frac{ل}{١ + كص}$

و لَ = لـ (١ + كصَ) = $\frac{ل}{١ + كص} \times (١ + كصَ)$

أي لَ = $\frac{ل (١ + كصَ)}{١ + كص}$

المسئلة الرابعة جسم كثافته ع وهو في درجة الصفر فما تكون كثافته عَ في درجة ص

فالجواب ان يُجعَل حجم الجسم وهو في درجة الصفر واحدًا ويرمز بالحرف ك لكمر تمدده الحجمي فحجمه في درجة ص يكون ١ + كص وحيث ان كثافة الجسم مناسبة لعكس حجمه يكون ١ + كص : ١ :: ع : عَ ومنه يحدث

عَ = $\frac{ع}{١ + كص}$

تطبيق تمدد الاجسام الجامدة

١٧ يبدو قوتا التمدد والانقباض في الأجسام الجامدة شديدتان ولذا يشاهد أن المصبعات من الحديد وهي التي توضع في وسط الكوانين متى تمددت من حرارة النار وست جدران الكوانين باعدت بناء تلك الجدران وان القضيب من الحديد اذا وضع بين جدارين وهو بارد ثم أحمي بالنار باعدهما واذا وضع وهو محمي ثم برد قربهما وان كانا متينين وكذا الطارات من الحديد التي تحيط بعجل العربانات فانها توضع عليها

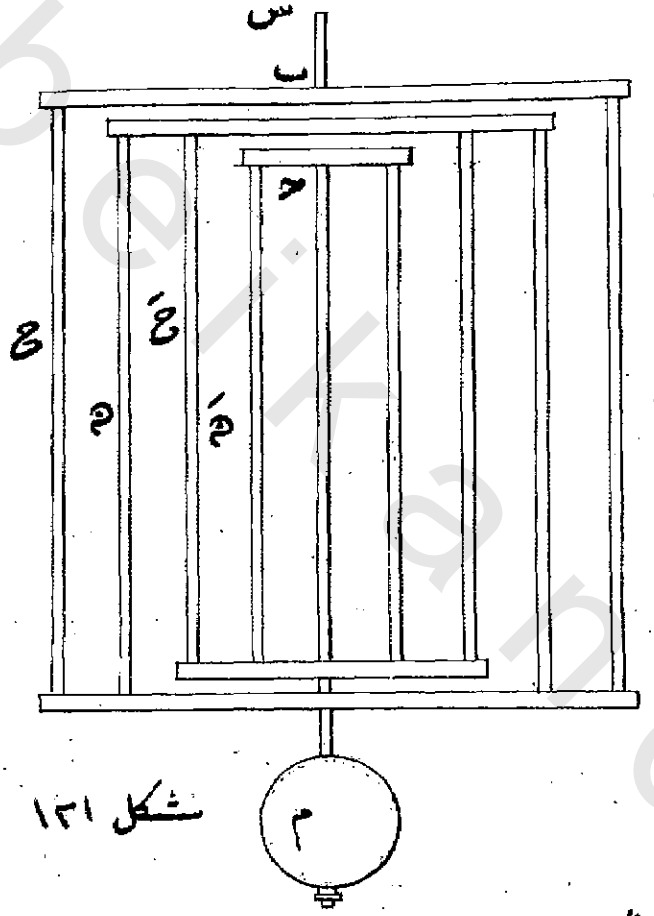
وهي محماة

وهي محاة لتضغط على دائرتها اذا بردت وبذلك تصير أمتن مما لو وضعت باردة واشرطة طرق الحديد التي تجري عليها العربانة يلزم ان توضع بحيث يكون بين اطرافها مسافة لتتمكن من التمدد اذا حصل تغير في درجة الحرارة فانه لم تترك بينها مسافة اخت من بعد الى بعد او كثرت وسايدها والأنابيب المتخذة من الحديد الزهر المعدة لتوصيل المياه تنكسر بسبب تغير درجة حرارة الجو اذا لم يحترس في عملها من هذا العارض ولذلك يدخل طرف كل أنبوبة في طرف الاخرى التي قبلها بحيث لا يكون بينهما الا اتحاك لطيف لا يمنع خروج جزء من الطرف الذي فيه اذا نقصت درجة الحرارة ولا دخوله اذا ازدادت الدرجة المذكورة وكذا اذا سخن أو برد اناء من زجاج دفعة ينكسر وذلك انما يحصل من كون الزجاج موصلاً غير جيد للحرارة فتسخن اجزاؤه وتتمدد لا بالتساوي فينكسر وبالجملة فمتى اريد ضم قطعتين من الحديد أو غيره من الأجسام المعدنية لبعضها لزم أن تترك بينهما مسافة ليتمكنا من التمدد اذا ازدادت درجة الحرارة والا لحصل بينهما تلف أو فساد بسبب تغير درجة الحرارة فينبغي أن ترتب الابنية والصنائع على كيفية بها تتمكن الأجسام المعدنية الداخلة فيها من التمدد والا اختلت وبطلت منافعها المرادة منها

الكلام على تعديل البندول

١٧٦ من المقرر في علم الميكانيكا ان زمن رجعة البندول متعلق بطول ساقه وحيث كانت ساقه من الأجسام التي تتمدد بالحرارة فلا بد أن يطول ويقصر بحسب تغير درجة الحرارة فاذا تمدد الساق المذكور ازداد زمن الرجعة وتأخر البندول واذا انقبض نقص زمن الرجعة وتقدم البندول فاحتاجوا لتعديله بالتأمل في فروق تمدد المعادن وتعديل بعضها ببعض بالطريقة المرسوم على وجهها ما في (الشكل ١٠١) الذي فيه ساق البندول قضيب من الحديد معلق في النقطة س يرتج بلا عائق حول هذه النقطة ويحمل بروازًا

من الحديد حاملاً بروازاً آخر من النحاس حاملاً بروازاً آخر من الحديد حاملاً بروازاً آخر من النحاس وفي وسطه يثبت قضيب الحديد الحامل للعدسة فبهذا الوضع اذا زادت درجة الحرارة استطالت القضبان الحديدية الى اسفل فتُنزِّل العدسة ويزيد بعد مركز الثقل م عن نقطة التعليق س واما القضبان النحاسية فترفعها لانها تستطيل الى اعلى وبهذا يقرب مركز الثقل المذكور من نقطة التعليق فاذا جعلت اطوال القضبان النحاسية بحيث يكون تمددها مقابلاً لتمدد القضبان الحديدية تعادل البندول ولاجل تعيين الارتباط الكائن بين القضبان النحاسية وبين البعد الثابت الكائن بين مركز الثقل م ونقطة التعليق يرمز بالحرف ح للقضيب الحديد الكائن في البروازالاول مضافاً اليه البعد س ب وبالحرف ح للقضيب



شكل ١٣١

النحاس الذي يليه وبالحرف ح" للقضيب النحاس الذي يليه وبالحرف ح" للبعد ح م وبالحرف ك لمكرر التمدد الخطي للحديد وبالحرف ك لمكرر التمدد الخطي للنحاس فيشاهد في الحالة التي يتعادل فيها البندول أنه يلزم ان يكون المقدار الذي ينخفض بقدره مركز الثقل م بسبب تمدد قضبان الحديد في طقس ص مساوياً للمقدار الذي يرتفع به بسبب تمدد قضبان النحاس في الطقس المذكور وحيث أن مقدار تمدد قضبان الحديد في طقس ص هو ك ص ح + ك ص ح' + ك ص ح" اي ك ص (ح + ح' + ح") ومقدار تمدد قضبان

النحاس

ح القضيب الحديد الكائن في البروازالاول المضاف اليه البعد س ب وبالحرف ح

النحاس في الطقس المذكور هو

$$ك ص ح + ك ص ح' \text{ أي } ك ص (ح + ح')$$

يكون $ك ص (ع + ع' + ع'') = ك ص (ح + ح')$ ومنها يكون

$ك (ع + ع' + ع'') = ك (ح + ح')$ فاذا رمزنا بالحرف ب

للبعد س م الكائن بين مركز الثقل م ونقطة التعليق س ظهر من الشكل أن

$$ب = ع - ح + ع' - ح' + ع''$$ ومنه ينتج

$$ع + ع' + ع'' = ب + ح + ح'$$

وبابدال الكمية $ع + ع' + ع''$ بالكمية $ب + ح + ح'$ تصير المعادلة السابقة هكذا

$$ك (ب + ح + ح') = ك (ح + ح')$$

وحيث علم من جدول مكرر التمدد الخطي للمعادن أن $ك = \frac{٥}{٣} ك$ بالجليل من التقريب

يكون $ك (ب + ح + ح') = \frac{٥}{٣} ك (ح + ح')$

ومنه ينتج $\frac{١}{٢} (ح + ح') = ٣ ب$

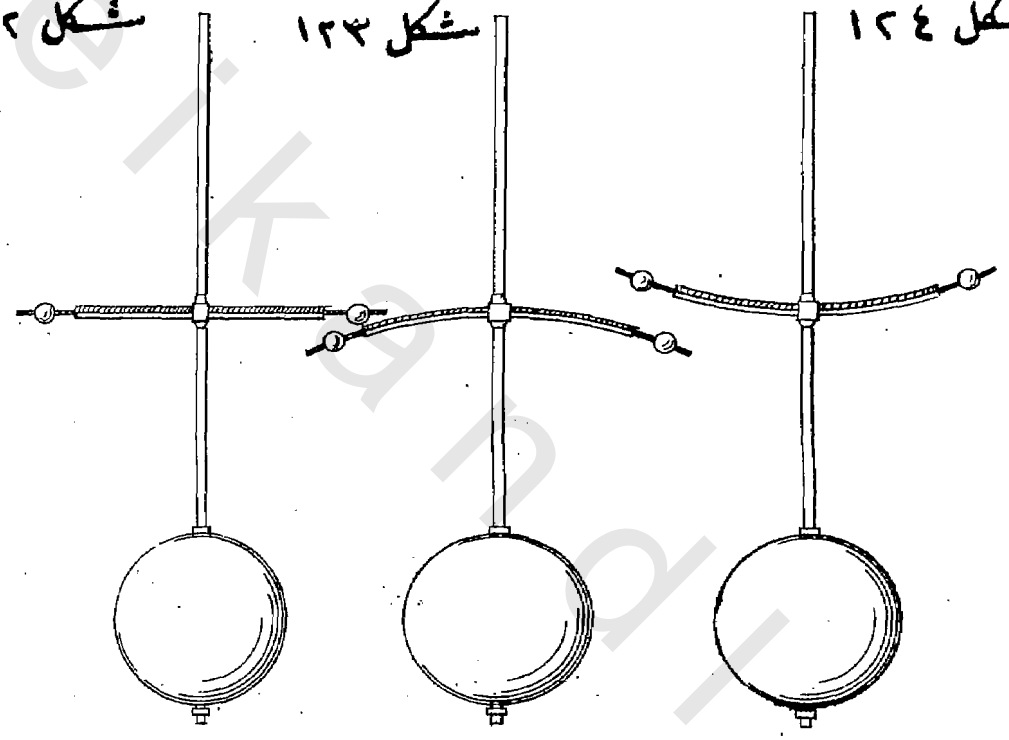
فالطرف الاول من هذه المعادلة هو مجموع القضبان النحاسية الموازية لساق البندول ومنها يعلم ان البندول المركب بهذه الكيفية يتعدل اذا كان مجموع القضبان النحاسية المذكورة ثلاثة امثال البعد الثابت الكائن بين مركز الثقل م ونقطة التعليق س

ويتوصل ايضاً لتعديل استطالة قضيب البندول بواسطة الصفيحتين المعدتين لتين وهما صفيحتان احداهما من النحاس والأخرى من الحديد ملتحمتان ببعضهما ومثبتتان في قضيب البندول كما في (الشكل ١٠٢) وصفيحة النحاس التي هي اكثر تمدداً من الحديد توضع لاسفل صفيحة الحديد فاذا انخفض الطقس انقبض قضيب البندول وارتفعت العدسة غير أن صفيحتي التعديل ينحنيان (كما في الشكل ١٠٣) لان النحاس ينقبض اكثر من الحديد وفطر في صفيحتي التعديل كرتان معدنيتان ينخفضان فاذا جعل بجسامهما

بحسب ما يليق للبندول حصل تعادل بين النقط التي تقرب من مركز التعليق والتي تبعد عنه وبهذا لا يتغير بعد مركز الرجات عن مركز التعليق

واما اذا ارتفع الطقس فان العدسة تنزل غير ان الكرتين يرتفعان كما في الشكل (١٢٤) فيتعدل البندول

شكل ١٢٢ شكل ١٢٣ شكل ١٢٤

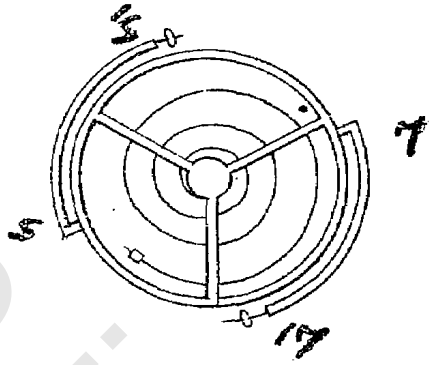


وهذه الطريقة تستعمل لتنظيم سير الساعات ومنظم حركة في الساعات هو رقاص يتحرك بزنبلك حلزوني كما في الشكل (١٢٥) وكل من ابعاد الرقاص وطول الزنبلك وقوته يتغير بتغير الطقس فيتغير انتظام سير الساعة ويتوصل الى تصليحه بأن يوضع على الرقاص صفيحتان صغيرتان معدّلتان ح ح ، ر ر مكون كل منهما من الحديد والنحاس ومنته بجسمين صغيرين من الذهب يمكن تقريب كل منهما أو تبعيده عن الصفيحتين فاذا ازداد

الطقس

الطقس قربت صفيحتى التعديل من المركز وعدلت التأثير الحادث من تمدد الرقاص ومن نقص قوة الزنبلك

شكل ١٣٥



الدرس الثانى والثلاثون

فى تمدد المائعات
فى التمدد المعى والتمدد الحقيقى

بند ١٧٤ لا يعتبر فى المائعات الا التمدد الجسمى وهو معى وحقيقى

فأما التمدد المعى فهو الازدياد الذى يحدث لحجم جسم مائع مظروف فى ظرف تمدده أقل من تمدد المائع المذكور ومن امثلة ذلك تمدد الزيبق والالكول فى الترمومترات

وأما التمدد الحقيقى فهو الزيادة الحقيقية التى يزداد بها حجم المائع بقطع النظر عن تمدد الظرف

والتمدد المعى اصغر من التمدد الحقيقى والفرق بينهما يساوى تمدد الظرف ويظهر تأسيس تمدد الظرف بان يغمس فى الماء المغلى ترمومتر ذو مستودع كبير فيه الكول ملوّن واصل لنصف انبوبة الترمومتر فيثبت أنه عند وضع المستودع فى الماء الساخن ينخفض الالكول فى الانبوبة وهذا ناشئ لا محالة من تمدد جدران الظرف غير انه اذا بقى المستودع مغموسا فى الماء الساخن يسخن الالكول ويصعد فى الانبوبة بكمية تساوى تمدده الحقيقى ناقصا تمدد الظرف

ومكرر التمدد فى الجسم المائع هو المقدار الذى تزيد به وحدة الحجم اذا ارتفع الطقس درجة واحدة فوق الصفر أى من درجة الصفر الى درجة واحد وحينئذٍ يتميز مكرر التمدد المعنى عن مكرر التمدد الحقيقى ولتعيين هذين المكررين عدة طرق لا اذكر منها الا طريقة المعلم دولنغ والمعلم بوتبت

الكلام على تعيين مكرر التمدد الحقيقى للزيبق

سند ١٧٢ لاجل تعيين مكرر التمدد الحقيقى للزيبق يلزم تصليح الخطأ الذى يحدث من تأثير تمدد الظرف ولهذا استعمل كل من المعلمين المذكورين طريقة مؤسسة على قاعدة من قواعد موازنة السائلات مضمونها ان السائلين المختلفى الكثافة اذا وضعا فى ماعونين مستطرقين لبعضهما لا يتم توازنهما الا اذا كانت النسبة بين ارتفاعيهما عكس النسبة التى بين كثافتيهما وهى قاعدة لا تتعلق بتطرق الماعونين وعليه فلا تتعلق بتمددهما

وصورة الجهاز الذى استعمله كل من المعلمين المذكورين مرسومة فى الشكل (١٠٦) وهو مكون من انبوبتين من الزجاج ا ، ب محفوظتين رأسيتين ومتصلتين بانبوبة شعرية وكل من الانبوبتين محاطة بغمد معدنى وأصغرهما الذى هو ا مملوء بالجليد المجروش والآخر مملوء بالزيت الذى يسخن بواسطة الفرن الصغير المرسوم فى الشكل (١٠٦) مفتوحا ليشاهد الغمد والانبوبتان ا ، ب مملوءتان بالزيبق الذى تكون تسويته واحدة اذا كان طقس الانبوبتين واحدا وترتفع تسويته فى الأنبوبة ب كلما ازدادت سخونتها

اذا تقرر هذا ورمز بالحرف ر لارتفاع الزيبق فى الانبوبة ا وهو فى درجة الصفر وبالحرف ع لكثافته فى الدرجة المذكورة وبالحرف ر لارتفاع الزيبق فى الانبوبة ب فى طقس ص وبالحرف ع لكثافته فى الطقس المذكور حدث بمقتضى

قاعدة موازنة السائلات المذكورة

ر' : ر :: ع : ع'

وحيث أن ع' = $\frac{ع}{١+ك ص}$ (كما في المسئلة الرابعة من سند ١٦٩) ن (ك مكور التمدد الحقيقي للزيبق) يكون

ر' : ر :: ع : $\frac{ع}{١+ك ص}$

وبقسمة حدي النسبة الاخيرة على ع وضربهما في ١+ك ص يصير

ر' : ر :: ١+ك ص : ١ ومنها يتحصل

ر' = ر + ر ك ص ، ك = $\frac{ر' - ر}{ر ص}$

وبهذا القانون يتعين مكور التمدد الحقيقي للزيبق بعد قياس ر ، ر' اللذين هما ارتفاعا الزيبق في الابنوبتين وقياس الطقس ص الذي هو طقس الزيت المغمورة فيه الأبنوبة ب وقد استعمل لذلك المعلم دولنغ والمعلم پوتيت المرمومتر المئوي الآتي بيانه في (سند ١٧٥)

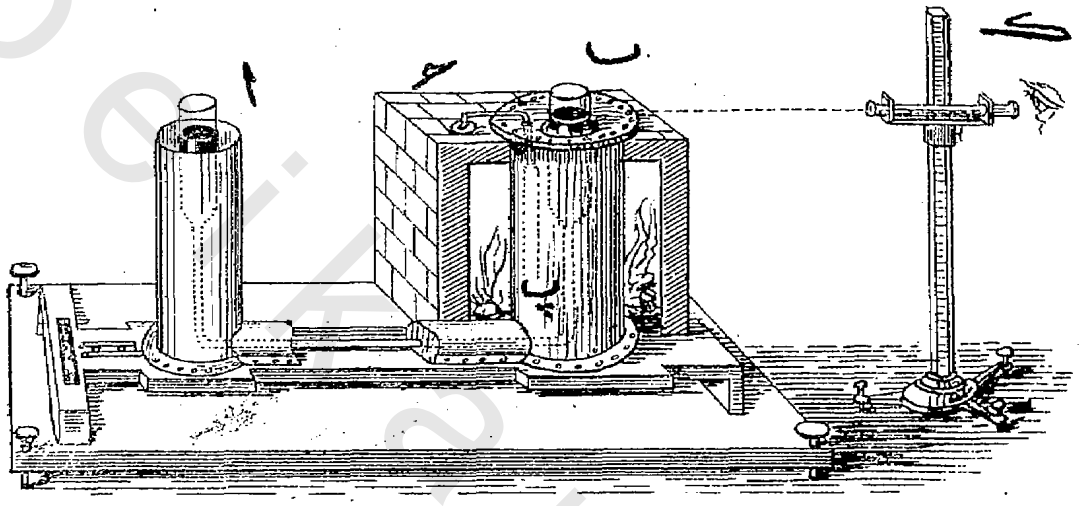
فأما ارتفاعا ر ، ر' فيتعينان بواسطة الكاتيتومتر ك وهو مسطرة من نحاس مقسومة الى ميلليمترات يمكن جعلها رأسية بواسطة قاعدة ذات بُرَمٍ وعلى المسطرة نظارة عمودية عليها يمكن تحريكها على طولها وفي هذه النظارة ورنية تبين الاجزاء التي قيمة الجزء الواحد منها $\frac{١}{١٠}$ من الميلليمتر

وبهذه الطريقة وجد المعلم دولنغ والمعلم پوتيت أن مكور التمدد الحقيقي للزيبق في كل درجة من الدرجات التي بين الصفر والمائة هو $\frac{١}{٥٥٥٠}$ ووجد أيضًا أن هذا المكور يزداد بازدياد الطقس فمقداره المتوسط في الدرجات التي بين ٠° ، ١٠٠° هو $\frac{١}{٥٤٧٥}$ ومقداره المتوسط في الدرجات التي بين ٠° ، ٣٠٠° هو $\frac{١}{٥٣٠٠}$

وتشاهد هذه الحادثة في المائعات الأخر فيستدل بذلك على أن الأجسام المائعة

لا تتمدد بانتظام فقد شوهد ان تمددها يقل انتظامه كلما قربت من طقس تجمدها أو غليانها وأما الزيبق فقد حقق كل من المعلم دولنغ والمعلم پوتيت أن تمدده من ٣٦° الى ١٠٠° يكاد ان يكون منتظماً

شكل ١٣٦



الكلام على مكرر التمدد المعى للزيبق

بند ١٧٤ مكرر التمدد المعى لمائع يتغير بتغير مادة الظرف وقد عين كل من المعلم دولنغ والمعلم پوتيت مكرر التمدد المذكور للزيبق حالكونه مظروفاً في الزجاج بواسطة الجهاز المبين في الشكل (١٣٧) وهو مركب من مستودع اسطوانى من الزجاج ملحومة فيه انبوبة شعرية منعطفة على زاوية قائمة ومفتوحة من طرفها

وكيفية العمل ان توزن الآلة فارغة ثم ممتلئة بالزيبق الذى في درجة الصفر فيكون فرق الوزنتين ثقل الزيبق المظروف في الآلة ولنرمز له بالحرف ق فاذا سخنت الى طقس معين ص تمدد الزيبق وخرج مقدار منه فيتلقى في جفنة صغيرة ثم يوزن فاذا رمز بالحرف ﻫ لثقل الزيبق الذى خرج بالتمدد صار ثقل الزيبق الباقى في الآلة

ق ـ ﻫ

اذا تقرر هذا

obeikandl.com

اذا تقرر هذا ورمز بالحرف ح لحجم الزيبق الذى ثقله د وهو فى درجة الصفر وبالحرف ح لحجم الزيبق (فى الدرجة المذكورة) الباقى فى الآلة الذى ثقله د - ذ كانت النسبة بين هذين الثقلين مساوية للنسبة بين حجميهما بسبب اتحادهما فى الطقس هكذا

د - ذ : د :: ح : ح وحيث أن الزيبق الباقى فى الآلة الذى حجمه ح اذا سخن تدريجا من درجة الصفر الى درجة ص يصير حجمه ح يعلم أنه اذا رمز بالحرف ك لمكرر التمدد المعطى للزيبق أمكن وضع هذه المتناسبة

ح : ح :: ١ : ١ + ك ص

و ك ص الازدياد الذى تزيد به وحدة الحجم من الزيبق بانتقالها من درجة الصفر الى درجة ص وبمقارنة هذه المتناسبة بالسابقة يحدث

د - ذ : د :: ١ : ١ + ك ص

وبمساواة حاصل ضرب الوسطين بحاصل ضرب الطرفين يحدث

د = د + د ك ص - ذ - ذ ك ص

وبطرح د من طرفى المعادلة وتحويل ذ تصير

ذ = د ك ص - ذ ك ص أو

ذ = (د - ذ) ك ص ومن هذه المعادلة يستخرج

$$ك = \frac{ذ}{(د - ذ) ص}$$

وبهذه الكيفية وجد المعلم دولنغ والمعلم بوتيت ان مكرر التمدد المعطى للزيبق (فى الزجاج) يساوى $\frac{1}{6480}$

الكلام على الترمومتر الثقلى

١٧٥ يسمى الجهاز المبين فى الشكل (٧٠) بالترمومتر الثقلى لانه يمكن معرفة درجة الحرارة التى وصلت اليها الآلة بعد معرفة ثقل الزيبق الذى خرج منها وايضاح

ذلك أن يقال حيث ظهر من التجربة السابقة ان

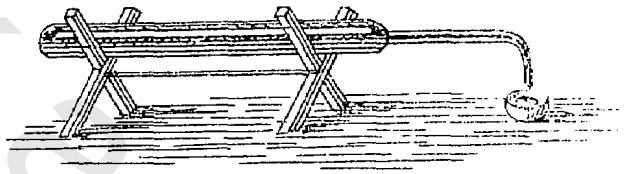
$$\frac{ق}{(ق_د - ق)ص} = \frac{1}{6480}$$ يكون

$$ق \times 6480 = (ق_د - ق)ص$$ ومنها يستخرج

$$ص = \frac{ق \times 6480}{ق_د - ق}$$

ومن هذا القانون يتعين الطقس ص بعد تعيين $ق_د$ و ق

شكل ١٢٧



الكلام على مكرر تمدد الزجاج

١٧٦ حيث كان التمدد الحقيقي لمائع ما وبالتمدده المعلى أي تمدده مضافًا اليه تمدد الظرف يتحصل مكرر التمدد الجلي للزجاج بالفرق بين مكرر التمدد الحقيقي المزبق ومكرر تمدده المعلى أي أن مكرر التمدد الجلي للزجاج يساوى $\frac{1}{5550} - \frac{1}{6480} = \frac{1}{38700} = 0{,}0002584$

وقد بين المعلم رينولت أن مكرر تمدد الزجاج ليس واحدًا في جميع انواع الزجاج وانه يتغير بحسب شكل الظرف ووجد أن مكرر تمدد الزجاج المعتاد المتخذة منه الانابيب الكيماوية يساوى 0,0002584

الكلام على مكررات تمدد المواتع الأخر

١٧٧ يمكن تعيين مكرر التمدد المعلى لاى مائع بواسطة الترمومتر المثقلي المذكور في (بند ١٧٥)

فاذا

فاذا اريد تعيين مكرر التمدد الحقيقي يضاف مكرر تمدد الزجاج الى مكرر التمدد المعيي وهذا ناتج من الارتباط الموجود بين هذه المكررات الثلاثة كما في (بند ١٧٦)

الكلام على تصحيح الارتفاع البارومتري

بند ١٧٨ قد ذكرنا في (بند ٣٧) ان زئبق البارمتر تتغير كثافته بتغير درجة الحرارة وأن الضغط الواحد يمكن ان يكون له ارتفاعات مختلفة وان الضغوط المختلفة يمكن ان يكون لها ارتفاعات متساوية وانه لاجل مقارنة الضغوط الجوية بعضها يلزم ان تلاحظ الارتفاعات في البارومتر وأن يبحث بواسطة الحساب عما تؤول اليه تلك الارتفاعات في درجة واحدة من الحرارة

فاذا رمز بالحرف ر لارتفاع الزئبق الدال على ضغط الجو في الطقس ص وبالحرف ر' لارتفاع الزئبق الدال على الضغط المذكور عندما يصير الطقس في درجة الصفر وبالحرف ع لكثافة الزئبق في درجة الصفر وبالحرف ع' لكثافة في الطقس ص حدث ر ع = ر' ع' لان كلا من الارتفاعين يعادل ضغطاً واحداً وحيث أن ع = ع' (١ + ك ص) يكون ر (١ + ك ص) = ر' ومنه يستخرج

$$ر = \frac{ر'}{١ + ك ص}$$ فهذا هو الارتفاع اللازم اتخاذه لقياس الضغط

وفي هذا القانون يجب ان يؤخذ مكرر التمدد الحقيقي للزئبق لا مكرر تمدده المعيي لان مقدار الارتفاع ر لا يتعلق بقطر انبوبة البارومتر وعليه فلا يتعلق بتمددها وبهذا يصير القانون المذكور هكذا

$$ر = \frac{ر'}{١ + \frac{١}{٥٥٥٠} \times ص} = \frac{ر' \times ٥٥٥٠}{٥٥٥٠ + ص}$$

فاذا كانت درجة الحرارة ٥٠ مثلاً وكان ارتفاع البارومتر ٧٥ سنتيمتر واريد معرفة

الارتفاع فى درجة الصفر يوضع ح٥ بدل ص و ٠٫٧٥ متر بدل ر فيصير القانون هكذا

$$ر = \frac{٠٫٧٥ \times ٥٥٥٥}{ح٥ + ٥٥٥٥} = \frac{٤١٦٢٫٥}{٥٥٧٥} = ٠٫٧٤٦ \text{ متر}$$

الكلام على النهاية الكبرى لكثافة الماء

سند ١٧٩ يحدث من الحادثة شهيرة وهى أنه اذا انخفض طقسه لا ينقبض الا الى الدرجة الرابعة فوق الصفر فان انخفض الطقس عن هذه الدرجة تمدد الماء الى درجة ابتداده وهى درجة الصفر بمعنى أن أعظم تكاثف الماء يكون فى الدرجة الرابعة فوق الصفر

وقد عمل المعلم ديبرى تجاريب عديدة ظهر له منها أنه اذا كانت درجة حرارة الماء اربعة فوق الصفر وصلت كثافته الى نهايتها الكبرى وذلك انه استعمل ترمومترا ابدل فيه الزيبق بالماء وصار يبرده تدريجا فى حمام كان يعين طقسه بترمومتر زيبقى فظهر له أن أعظم انقباض حصل للماء الذى فى الترمومتر كان فى الدرجة الرابعة فوق الصفر

الدرس الثالث والثلاثون

فى تمدد الغازات

الكلام على قوانين المعلم غايلوساك

سند ١٨٠ مكرر التمدد لأى غاز هو مقدار زيادة وحدة الحجم فى درجة واحدة من الحرارة وقد ذكر المعلم غايلوساك قانونين لتمدد الغازات

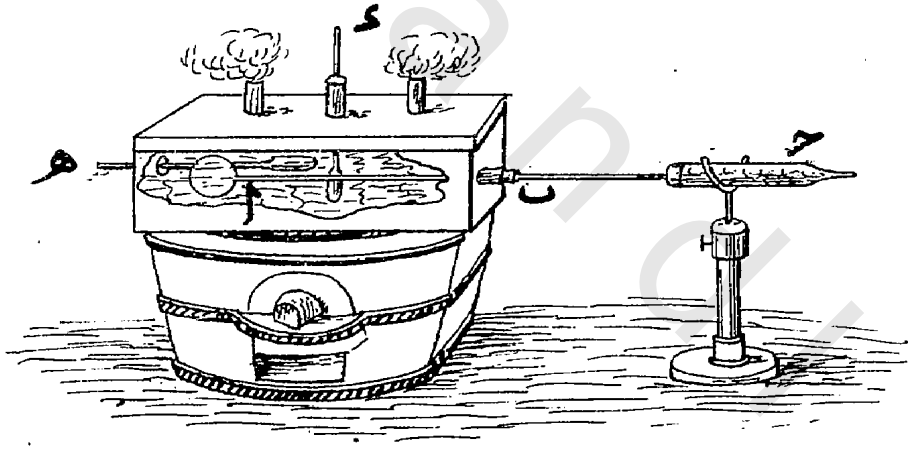
الأول ان مكرر التمدد فى جميع الغازات واحد ومقداره الرقمى $\frac{١}{٢٦٧}$ أى ٠٫٠٠٣٧٥

الثانى ان هذا المكرر لا يتعلق بالضغط أعنى انه لا يتعلق بكثافة الغاز الأصلية

وهذان القانونان الشهيران بسلطتهما لم يزالا معمولين الى سنة ١٨٣٧ ثم ظهر من ابحاث المعلم رود بيرك والمعلم ماينوس والمعلم رينولت ان المكرر الذى اظهره المعلم غايلوساك كبير جدًا عن الحقيقى وان مقدار الحقيقى للهواء ٠٠٠٣٦٦٥ وان مكرر التمدد على ما بينه المعلم رينولت ليس واحدًا فى جميع الغازات بل يختلف فى الغاز الواحد باختلاف الضغط أى باختلاف كثافة الغاز

الكلام على طريقة المعلم غايلوساك

١٨١ سند طريقة المعلم غايلوساك أن يقاس تمدد الهواء وغيره من الغازات فى تيرمومتر هوائى مكون من مستودع كروى ا كما فى الشكل ١٢٨



ومن أنبوبة شعرية اب مقسومة الى اجزاء متساوية السعة لكن ينبغى اولا تعيين النسبة بين حجم المستودع ا واحد اجزاء الأنبوبة وذلك بان توزن الآلة وهى ممتلئة بالزيبق وهو فى درجة الصفر ثم تسخن قليلًا ليخرج جزء من الزيبق ثم توزن ثانيًا فيعلم ثقل الزيبق الخارج فاذا برّد الزيبق الباقى حتى وصل الى درجة الصفر حدث فى الانبوبة اب فراغ يعلم به حجم الزيبق الذى خرج ومنه يعلم حجم الزيبق الباقى فى الآلة ثم حجم الزيبق الذى فى المستودع

فحينئذٍ يملأ المستودع والأنبوبة بالهواء اليابس بأن يملأ اولًا بالزيبق ويغلى فى المستودع

لتنقيته من الرطوبة ثم يثبت فى نهاية الانبوبة الانبوبة ح المتلئة بالجواهر
الجنفنة ككلورور الكلسيوم مثلاً ويدخل فى الانبوبة ا ب وفى وسط الانبوبة
ح سلك رفيع من البلاتين ثم يمال الجهاز حتى يكون بحيث لو تحرك السلك فيه لقطر
الزيبق من تلك الأنبوبة شيأ فشيأ ودخل مكانه الهوآء اليابس وتدام العملية هكذا
الى ان لا يبقى فى انبوبة الترمومتر الا دليل صغير من الزيبق
اذا تقرر هذا يؤخذ الترمومتر الهوائى ويوضع فى حوض من الثلج على صورة الصندوق
العادى ويملأ الصندوق اولاً بالثلج غير التام الذوبان فينقبض الهوآء ويتحرك الدليل
جهة المستودع ؟ فنعلم النقطة التى استقر فيها الدليل وبهذا يتعين حجم الهوآء فى
درجة الصفر لان سعة المستودع معلومة ثم يزال الثلج ويبدل بالماء او بالزيت ويسخن
الحوض على فرن فيتمدد هوآء المستودع ويدفع الدليل جهة ب فنعلم النقطة التى
استقر فيها الدليل ونعلم فى وقتها الطقس المبين بالترمومترين ء و ه وبهذا
يتعين حجم الهوآء وطقسه
فاذا فرض اولاً ان الضغط الجوى لم يتغير فى مدة التجربة وحذف تمدد الزجاج لشدة
صغره تحصل التمدد الكلى للهوآء فى الآلة وبطرح حجمه وهو فى درجة الصفر من حجمه
وهو فى آخر التجربة وقسمة الباقى على الطقس الأخير ينتج مقدار التمدد المقابل لدرجة
واحدة وبقسمة هذا الناتج على عدد الوحدات الحجمية الموجودة فى حجم الهوآء وهو فى
درجة الصفر يحصل تمدد الوحدة الحجمية فى الدرجة الواحدة وهو مكرر التمدد
وسيشاهد فى المسائل الآتية فى (بند ١٨٠) الكيفية التى بها يصحح الخلل الحادث
من الضغط والطقس عند ما يراد اعتبار تغيرات الضغط الجوى وتمدد الزجاج

مسائل مختصرة بتمدد الغازات

بند ١٨٧ المسئلة الأولى اذا كان ح حجم غاز وهو فى درجة الصفر فما يكون حجمه
فى

فى درجة ص بفرض ان معامل تمدده ك وان الضغط ثابت

فالجواب ان يرمز بالحرف ح٠ للحجم المطلوب

فيكون $ح_{٠} = ح + ك ح ص$

أو $ح_{٠} = ح (١ + ك ص)$ ..... (١)

انظر بند (١٦٨)

المسئلة الثانية اذا كان ح٠ حجم غاز وهو فى الدرجة ص فما يكون حجمه فى درجة الصفر بفرض أن معامل تمدده ك وان الضغط ثابت

فالجواب أن يقال أن هذه المسئلة تحل بواسطة القانون (١) المتقدم بأن يستخرج منه

$$ح = \frac{ح_{٠}}{١ + ك ص} \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

المسئلة الثالثة اذا كان ح حجم غاز وهو فى درجة ص فما يكون حجمه فى درجة صَ بفرض ثبات الضغط

فالجواب أن يقال ان هذه المسئلة تحل بالبحث اولاً عما يؤول اليه الحجم المعلوم اذا صارت الحرارة فى درجة الصفر ويتحصل ذلك بواسطة القانون الثانى فيحدث $\frac{ح}{١ + ك ص}$

وبالبحث ثانياً عما يؤول اليه هذا الحجم اذا صارت درجة الحرارة صَ ويتحصل ذلك بواسطة القانون (١) يحدث

$$ح_{٠} = \frac{ح (١ + ك صَ)}{١ + ك ص} \quad \ldots\ldots\ldots (٣)$$

المسئلة الرابعة اذا كان ح حجم غاز فى درجة ص وتحت ضغط ه فما يكون حجمه فى درجة الصفر وتحت ضغط ٧٦ سنتمتر

فالجواب ان يقال انه يجب ان يعمل فى هذه المسئلة تصليحين احدهما متعلق بالطقس والآخر بالضغط ولا تتغير النتيجة المطلوبة سواء بدأنا بالأول أو بالثانى فاذا بدأنا بالتصليح المتعلق بالطقس وجدنا أن الحجم الذى فى درجة الصفر يصير بمقتضى القانون (٢)

هكذا $\frac{ح}{1+ك ص}$ لكنه باق تحت الضغط هـ فلتحويله من هذا الضغط الى الضغط ٧٦ر٠ متر نضع هذه المتناسبة ٧٦ر٠ متر : هـ :: $\frac{ح}{1+ك ص}$: حَ ومنها ينتج

$$حَ = \frac{هـ ح}{٧٦ر٠ متر (1+ك ص)} \quad \text{.....(٤)}$$ انظر قانون المعلم ماريوت

توضيح ذلك بالحساب ان يقال

اذا كان المعلوم ٨ ليترات من الهواء في طقس ٥٢ وتحت ضغط ٧٤ر٠ متر وكان المطلوب معرفة الحجم في درجة الصفر وتحت الضغط ٧٦ر٠ متر يقال

اذا بدأنا اولاً بتصليح الضغط وجدنا

$$٧٦ : ٧٤ :: ٨ : س$$

$$\text{فينتج } س = \frac{٨ \times ٧٤}{٧٦} = ٧ر٧٨٩ \text{ ليترات}$$

فهذا هو الحجم تحت الضغط ٧٦ر٠ مترا لكنه باقٍ في طقس ٥٢ ولتحويله لدرجة الصفر يستعمل القانون (٤) فينتج منه

$$حَ = \frac{٧ر٧٨٩ \text{ ليترات}}{١ + ٠ر٠٠٣٦٦ \times ٢٥} = \frac{٧ر٧٨٩ \text{ ليترات}}{١ر٠٩١٥}$$

أي $حَ = ٧ر١٢٦$ ليترات

ويمكن ايضاً استعمال القانون (٤) بان يبدل فيه هـ ف ح ف ك ف ص بمقاديرها

المسئلة الخامسة قارورة من الزجاج حجمها حَ في درجة ص فما يكون حجمها في درجة الصفر

فالجواب أن يقال اذا رمز بالحرف ك لمكور التمدد الحجمي للزجاج وبالحرف ح لحجم القارورة في درجة الصفر حد

$$حَ = ح + ك ح ص = ح (1+ك ص)$$

$$\text{ومنها ينتج } ح = \frac{حَ}{1+ك ص}$$

المسئلة السادسة اذا كان قَ ثقل حجم من غاز وهو في درجة ص فما يكون ثقل حجم مثله من هذا الغاز وهو في درجة الصفر

فالجواب

فالجواب ان يقال انا نرمز بالحرف ه للثقل المطلوب وبالحرف ك لمكرر تمدد الغاز وبالحرف ع لكثافته فى درجة ص وبالحرف ع لكثافته فى درجة الصفر حدث ه : ه :: ع : ع لان الاثقال تناسب الكثافات فحينئذ اذا جعل حجم الغاز فى درجة الصفر واحدا فحجمه فى درجة ص يكون ١ + ك ص وحيث أن الكثافات تناسب عكس الحجوم يحدث ع : ع :: ١ : ١ + ك ص وحيث كان لهاتين المتناسبتين نسبة مشتركة ينتج منها ه : ه :: ١ : ١ + ك ص ومن هذه المتناسبة ينتج

$$ه = \frac{ه}{(١ + ك ص)}$$

جدول يتضمن مكررات تمدد بعض الغازات فى الدرجات التى بين الصفر والمائة وتحت ضغوط واقعة بين ٥٠ ر متر من الزيبق و ٥٠ ر١ متر منه على حسب تجاريب المعلم رينولت

اسماء الغازات	مكرر التمدد
الهواء	٠ ر ٠٠٣٦٦٥
الايدروجين	٠ ر ٠٠٣٦٦٧٨
ازوت	٠ ر ٠٠٣٦٦٨٤
حمض الكبريتوز	٠ ر ٠٠٣٦٦٩٦
حمض الكلوريدريك	٠ ر ٠٠٣٦٨١٤
سيانوجين	٠ ر ٠٠٣٦٨٤١
حمض كربونيك	٠ ر ٠٠٣٦٨٩٦
اوكسيد الكربون	٠ ر ٠٠٣٦٦٦٧

ثم ان المعلم رينولت وجد بالتجاريب العديدة ان تمدد الغازات يتغير بحسب كثافاتها الأصلية وان التغير المذكور يكبر كلما كبر الضغط الواقع على الغاز ووجد ايضا ان التغيرات ليست واحدة فى الغازات المختلفة فهى فى الايدروجين تكاد أن لا تدرك

وفي حمض الكربونيك تكون كبيرة وتكون اكبر من ذلك في حمض الكبريتوز
وقد عرف المعلم المذكور ايضًا ان الفرق بين مكرري تمدد غازين يكبر كلما عملت التجربة
تحت ضغط شديد وان تمدد احدهما بالنسبة على ذلك يقرب من ان يساوي تمدد
الآخر اذا عملت التجربة تحت ضغط ضعيف فيحتمل ان جميع الغازات تتمدد بكيفية
واحدة اذا اخذت في حالة تامة الغازية

الكلام على الترمومتر الهوائي

١٨٤ يتركب الترمومتر الهوائي مكون من مستودع من زجاج ملحومة فيه انبوبة شعرية
طويلة والمستودع ممتلي بالهواء الجاف فيدخل في الانبوبة دليل من حمض الكبريتيك
الملون بالحمر ثم تدرج الآلة بدرجات مابينية بمقارنة سير الدليل بسير الترمومتر
الزيبقي المضبوط

وينبغي أن تترك نهاية أنبوبة الترمومتر الهوائي مفتوحة اذ بدون ذلك ينقبض
الهواء الذي فوق الدليل أو يتمدد في الوقت الذي ينقبض فيه هواء المستودع أو
يتمدد فيستقر الدليل

فينتج من ذلك ان دوال الترمومتر الهوائي تتأثر من الضغط الجوي وهذا يستدعي
تصليحًا في كل رصد

ثم ان المعلم رينولت وجد بالتجاريب ان الترمومتر الهوائي والترمومتر الزيبقي
يتوافقان الى ٢٠° وان تمدد الزيبق بعد هذه الدرجة يزداد اكثر من زيادة
تمدد الهواء

الدرس الرابع والثلاثون

في الحرارة النوعية

سند ١٨٥. الحرارة النوعية للجسم هي كمية الحرارة التي تنتشر بها او تفقدها وحدة الثقل من الجسم المذكور اذا ارتفع او انخفض طقسه درجة واحدة مأخوذة بين حدين معينين كحد درجة الصفر والمائة أو ٠° الى ١٠٠°

والحرارة النوعية النسبية لجسم هي الناتج من قسمة حرارته النوعية على الحرارة النوعية لجسم آخر يجعل حد مقارنة له

وليست الحرارة النوعية واحدة في الأجسام المختلفة وذلك انه اذا مزج كيلوكرام من الزيبق طقسه ١٠٠° بكيلوكرام من الماء في درجة الصفر صارت درجة الممزوج ٣ تقريبًا بمعنى أن الحرارة التي تكفي لرفع كيلوكرام من الزيبق ٩٧° لترفع كيلوكرامًا من الماء ٣ درجات فقط فينتج من هذا أن سعة الماء للحرارة قدر سعة الزيبق لها ٣٣ مرة تقريبًا

سند ١٨٦ كمية الحرارة التي تكفي لتغيير طقس الجسم بجملة درجات تساوي حاصل ضرب ثلاثة مكررات أحدها ثقله والثاني حرارته النوعية والثالث الدرجات التي يتغير بها طقسه هذا اذا لم يتجاوز الطقس ١٠٠° فان زاد الطقس عنها تغير مقدار الحرارة النوعية مثال ذلك الحديد فانه يحتاج في انتقاله من الصفر الى درجة عشرة فوق الصفر كمية من الحرارة وفي انتقاله من مائة الى مائة وعشرة كمية زائدة عن ذلك وفي انتقاله من مائتين الى مائتين وعشرة كمية زائدة عن ذلك وهكذا مع كونه لا ترتفع درجة حرارته في كل مرة الا عشرة فقد قبل مقدارًا من الحرارة اكثر مما كان وهذه الحالة يقال لها السعة المتزائدة ولاجل معرفة النسبة بين سعة الأجسام الجامدة والسائلة للحرارة قدروا سعة الماء بواحد ليجعل أصلاً

ينسب اليه

الكلام على طرق تعيين الحرارة النوعية للأجسام

سند ١٨٧ لتعيين الحرارة النوعية للأجسام عدة طرق المذكور منها هنا طريقتان احداهما طريقة المزج والأخرى طريقة ذوبان الثلج ولنتكلم على كل منهما على حدته فنقول

الكلام على طريقة المزج

سند ١٨٨ طريقة المزج ان يغمر الجسم المراد تعيين حرارته النوعية في مقدار من الماء ثقله معين وطقسه كذلك ويلاحظ طقس الممزوج بمجرد ما يصير واحداً في جميع اجزائه فتعيين الحرارة النوعية للجسم من ثقلي الجسمين الممزوجين ومن طقسيهما الأصليين وطقسهما الانتهائي

ويؤخذ الماء بطقس كطقس الهواء المحيط أو بطقس يقرب من طقسه وأما الجسم فيؤخذ بطقس مرتفع وينبغي ان يكون مقدار الماء كبيراً جداً بالنسبة لجسم الجسم

مثال ذلك اذا كان م ثقل الجسم و ص طقسه و س حرارته النوعية و مَ ثقل الماء و صَ طقسه و ث سعة الماء للحرارة و ط طقس الممزوج كان مقدار انخفاض طقس الجسم ص ـ ط ومقدار الحرارة التي فقدها يساوي م س (ص ـ ط) وأما الماء الذي كان طقسه صَ وصار ط فانه اكتسب مقداراً من الحرارة يساوي مَ ث (ط ـ صَ) فاذا فرض ان الحرارة التي يفقدها الجسم يكتسبها الماء تحصل

م س (ص ـ ط) = مَ ث (ط ـ صَ)

وهي معادلة يمكن ان يستنتج منها النسبة بين س و ث اي النسبة بين سعة الجسم للحرارة وسعة الماء لها وهي الحرارة النوعية للجسم

وقد فرضنا ان الحرارة التي يفقدها الجسم يتشربها الماء تماماً والواقع ليس كذلك

لان

لان الماعون المظروف فيه الماء يتسخن من حرارة الماء فياخذ مقداراً من الحرارة يساوي ح ك (ط - ص) بجعل ح رمز الثقله و ك رمز السعته للحرارة فاذا اضيفت هذه الكمية لكمية الحرارة التي يكتسبها الماء كان المجموع مساوياً للحرارة التي يفقدها الجسم وحينئذٍ تصير المعادلة هكذا

م س (ص - ط) = م ث (ط - ص) + ح ك (ط - ص)

ويتعين مقدار سعة الماعون للحرارة بتجربة أولية تجرى العملية فيها على جسم من طبيعة الماعون

فاذا وضع ح ك = د ث صار مقدار الحرارة التي يأخذها الماعون مساوياً لما يأخذه مقدار من الماء ثقله د والكمية د تسمى مقدار الماعون معتوماً بالماء وقد فرضنا ايضاً في هذه المعادلة انه ليس هناك سبب خارجي يأخذ أو يجلب من الحرارة شيئاً مع أن الهواء المحيط يميل دائماً لان يتشرب مقداراً من الحرارة اذا كان طقسه منخفضاً عن طقس الممزوج فاذا اجريت العملية على الأجسام المائعة تحصل المزج بسرعة في جميع الاجزاء وصار الطقس واحداً في جميعها وحينئذٍ لا يتشرب الهواء الا كمية صغيرة جداً من الحرارة مدة التجربة القصيرة

وأما اذا اجريت العملية على الأجسام الجامدة فلا يتوازن الطقس في جميع اجزاء الممزوج بسرعة وحينئذٍ يمكن ان يحدث من تأثير الهواء خطأ عظيم ولتقليل هذا الخطأ يجعل الجسم الجامد على صورة حلقات عريضة مبططة ليكثر عدد النقط التي يحدث فيها التماس بين سطحه والماء وليتزن الطقس في جميع اجزائه بسرعة

ويمكن ايضاً تصليح الخطأ تصليحاً يكاد ان يكون تاماً بأن يؤخذ الماء بطقس منخفض عن طقس الهواء المحيط بجملة درجات مساوية للدرجات التي يرتفع بقدرها بسبب المزج لان الحرارة التي تفقد في النصف الأخير من مدة التجربة تخبر تقريباً بالحرارة التي تكتسب

مدة النصف الأول منها

والكمية التي يجب خفض طقس آلما بقدرها قبل تغطيس الجسم الجامد فيها تعلم بتجربة أولية

سند ١٨٩ وقد وجد المعلم دولنغ والمعلم بوتيت ان السعة الحرارية للجسم الواحد دائما واحدة مالم يتجاوز طقسه ١٠٠° فينتج من هذا ان السعة المتوسطة ثابتة بين درجة الصفر ودرجة ١٠٠ وينبني على هذا انه يلزم دائما مقدار واحد من الحرارة لاحداث اثر واحد في الجسم الواحد بالابتداء من أي درجة تحت المائة

والسعة الحرارية للجسم الواحد تتغير اذا ارتفع الطقس عن ١٠٠° كما بين من تجاريب المعلم دولنغ والمعلم بوتيت ومن أمثلة ذلك الزيبق فان سعته الحرارية بين درجة الصفر والمائة هي ٠٫٠٣٣٠ مع انها ٠٫٠٣٥٠ بين درجة الصفر ودرجة الثلاثمائة وكذا الحديد فان سعته الحرارية ١٠٩٨ر بين درجة الصفر ودرجة المائة مع انها ١٤١٨ر بين درجة الصفر ودرجة الثلاثمائة فيعلم من هذا ان الجسم الواحد يحتاج لمقادير متزائدة من الحرارة ليرتفع طقسه درجات متساوية ان كان طقسه فوق المائة

وقد عرف المعلم رينولت بتجاريبه ان كثيرا من الموائع تتغير سعته الحرارية تحت ١٠٠° كزيت الترمنتينا فان سعته الحرارية ٤٧٦ر بين ٥° و ١٠° مع انها ٤٦٧ر بين ٥° و ١٠٠° وكالما فان سعته الحرارية ١ بين ٥° و ١٠° مع انها ١٠٠٨٠ر بين ٥° و ١٠٠°

الكلام على طريقة دوبان الثلج

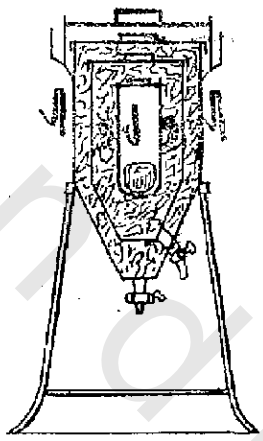
بند ١٩٠ الآلة المستعملة في هذه الطريقة تسمى كالورمتر اي مقياس الحرارة وحيث ان الذي انشأ هذه الآلة هو المعلم لافوازيه والمعلم لابلاس سميت كالورمتر لافوازيه ولابلاس وهي مكونة من ثلاث أوانٍ من الصلج متداخلة في بعضها بينها فضاءات

احدهما

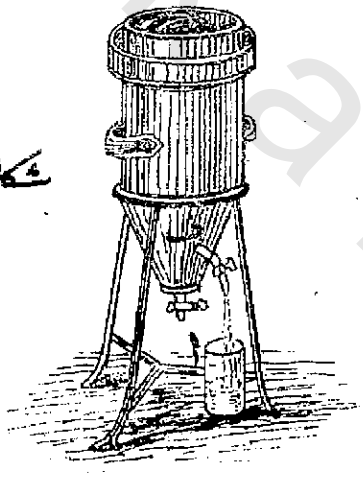
أحدهما فضاء ك ك في درجة الصفر وفائدة الفضاء ك ك صيانة باطن الآلة من تأثير حرارة الهواء المحيط وحفظ باطن الجهاز دائمًا في الصفر والفضاء مملوء أيضًا بالجليد وله حواف مرتفعة لحفظ ذلك الجليد والفضاء ومتصل به حنفية ف ينزل منها في الاناء ا ماذاب من الجليد بسبب حرارة الجسم المعرض للتجربة وقت التجربة وهذا الجسم يوضع في شبكة ﻫ من سلوك الحديد فاذا رجعت حرارته الى الصفر وزن الماء الذي في الاناء ا ليعرف مقدار ما أذابه ذلك الجسم من الجليد وبه تتعين الحرارة النوعية لذلك الجسم

والثاني فضاء مملوء ان من الجليد المكسر الذي

شكل ١٢٩



شكل ١٣٠



فاذا كان م ثقل الجسم و ص طقسه و س سعته الحرارية و ه ثقل الثلج الذي اذابه بتبريده الى درجة الصفر تكون كمية الحرارة التي يفقدها الجسم ليرجع من درجة ص الى درجة الصفر مساوية لحاصل ضرب ثقله في عدد درجات انخفاض طقسه وفي سعته الحرارية اى م ص س وحيث علم بالتجربة ان الكيلوكرام من الماء الذي طقسه ٧٩° يذيب كيلوكرامًا واحدًا من الثلج يكون ٧٩ ث مقدار الحرارة المستعملة لذوبان الكيلوكرام من الثلج (بجعل ث رمزًا للحرارة النوعية للماء) ويكون ٧٩ و ث مقدار الحرارة المستعملة لذوبان مقدار م من الثلج ثقله ه فحينئذٍ يكون

$$م ص س = ٧٩ ه ث$$

$$ه = \frac{م ص}{٧٩ ه} \times ث \quad \text{أو}$$

$$\frac{س}{ث} = \frac{٧٩ ه}{م ص}$$ فهذه هي النسبة بين السعة الحرارية للجسم والسعة الحرارية للماء

واذا كان الجسم المراد تعيين حرارته النوعية سائلا يجعل في آنا صغير معدني تعين حرارته النوعية اولا ثم يوضع في الشبكة ﻫ وتتم العملية كما اذا كان الجسم جامدا غير انه يلزم لتعيين الحرارة النوعية لهذا السائل ان يبحث عن مقدار حرارة الآنا ويطرح من مقدار الحرارة التي اذابت الثلج المتحصل ليعرف مقدار الثلج المذاب من حرارة السائل وحده وبه تتعين الحرارة النوعية لهذا السائل

جدول يتضمن مقادير الحرارة النوعية المتوسطة بين درجة الصفر ودرجة المائة لبعض الأجسام على حسب ما شاهده المعلم رينولت بطريقة المزج

اسماء الاجسام	مقدار الحرارة النوعية
ماء	١٫٠٠٨٠٠٠
زيت الترمنتينا	٠٫٤٥٥٩٠
فحم الخشب المكلس	٠٫٢٤١١١
كبريت	٠٫٢٠٢٥٩
زجاج الترمومترات	٠٫١٩٧٦٨
فوسفور	٠٫١٨٩٤٩
ماس	٠٫١٤٦٨٧
منغنيز مكربن	٠٫١٤٤١١
فونت أبيض	٠٫١٢٩٨٣

حديد	٠٫ ١١٣٧٩
فولاذ املس	٠٫ ١١٦٥٠
نيكيل	٠٫ ١٠٨٦٣
كوبلت	٠٫ ١٠٦٩٦
خارصيني	٠٫ ٠٩٥٥٥
نحاس	٠٫ ٠٩٥١٥
فضه	٠٫ ٠٥٧٠١
قصدير	٠٫ ٠٥٦٤٢
انتيمران	٠٫ ٠٥٠٧٧
زيبق	٠٫ ٠٣٣٣٤
ذهب	٠٫ ٠٢٤٤٤
بلاتين مصفح	٠٫ ٠٢٤٤٣
بزموت	٠٫ ٠٢٠٨٤

الكلام على طرق تعيين الحرارة النوعية للغازات

بند ١٩١ الحرارة النوعية للغازات اما ان تتعين بالنسبة للحرارة النوعية للماء واما بالنسبة للهواء

فى الحالة الاولى تكون الحرارة النوعية للغاز دالة على النسبة بين كمية الحرارة اللازمة لرفع سخونة ثقل معين من الغاز درجة واحدة وبين كمية الحرارة اللازمة لرفع سخونة ثقل مثله من الماء درجة واحدة

وفى الثانية تكون الحرارة النوعية للغاز دالة على النسبة بين كمية الحرارة اللازمة

لرفع سخونة جسم معين من الغاز درجة واحدة وبين كمية الحرارة اللازمة لرفع سخونة جسم مثله من الهواء درجة واحدة وفي هذه الحالة صورتان

الاولى ان تعين الحرارة النوعية للغازات مع اتحاد الضغط واختلاف الحجم

الثانية ان تعين الحرارة النوعية للغازات المذكورة مع اتحاد الحجم واختلاف الضغط ومقدار الحرارة النوعية للغاز الواحد ليس واحدًا في هاتين الصورتين بل هو في الثانية أصغر منه في الاولى

الكلام على طريقة تعيين مقدار الحرارة النوعية للغازات

بالنسبة للحرارة النوعية للماء

يجد ١٩٤ لتعيين مقدار الحرارة النوعية لغاز بالنسبة للحرارة النوعية للماء يسخن هذا الغاز الى طقس مرتفع كالطقس ١٠٠° مثلًا ويمرر بسرعة واحدة في ملفوف محاط بجسم من الماء البارد فيرتفع طقس الملفوف وطقس الماء المحيط به شيئًا فشيئًا ويكون مقدار الحرارة التي تشربها ماء مساويًا لمقدار الحرارة التي فقدها الغاز (كما في طريقة المزج) ويلزم ان تجعل النتائج غير متعلقة بفقد الحرارة في الهواء المحيط ولاجل ذلك يُبرد الماء حتى يصير طقسه منخفضًا درجتين أو ثلاث درجات عن طقس الهواء وتتم التجربة وقتما يصير طقس الماء مرتفعًا عن طقس الهواء بالمقدار الاول لان الحرارة المفقودة في النصف الثاني من مدة التجربة تتجبر بالحرارة المكتسبة في النصف الاول منها

اذا تقرر هذا ورمز بالحرف م لثقل الغاز الذي مر في الملفوف وبالحرف س لحرارته النوعية وبالحرف ص لطقسه الأصلي وبالحرف م لثقل الماء وبالحرف ے لثقل الملفوف وبالحرف ث للحرارة النوعية للماء وبالحرف ک للحرارة النوعية للملفوف وبالحرف ص لطقسهما في ابتداء التجربة وبالحرف ط لطقسهما في انتهائها صار مقدار الحرارة التي

يكتسبها

يكتسبها الماء الملتوى هكذا

$$م ث (ط - ص) + ے ك (ط - ص)$$

ومقدار الحرارة التي يفقدها الغاز يساوى $م س (ص - ص')$ (بجعل $ص'$ رمزًا لطقس الغاز عند خروجه من الملتوى) (وهذا الطقس $ص'$ يتغير في كل لحظة كما يشاهد ذلك بوضع ترمومتر في تيار الغاز عند خروجه من الجهاز)

ويشاهد ايضًا ان الغاز يخرج بطقس مساوٍ لطقس الماء اذا كان الملتوى طويلًا بالكفاية ويحصل مقدار $ص'$ بدون خطا بين بأخذ المتوسط $\frac{ص + ط}{٢}$ بين الطقس الابتدائى والانتهائى لان مقدار الحرارة التي يكتسبها الماء من حرارة الغاز لا يختلف الا قليلًا عن مقداره اذا خرج الغاز بالطقس المتوسط $\frac{ص + ط}{٢}$ فحينئذ اذا ابدل $ص'$ بمقدار يحصل

$$م س (ص - \frac{ص + ط}{٢}) = م ث (ط - ص) + ے ك (ط - ص)$$

وهى معادلة يسهل بها تعيين السعة الحرارية للغاز بالنسبة للسعة الحرارية للماء وقد ظهر من تجاريب المعلم لاروش والمعلم بيرارد ان الحرارة النوعية للهواء ٠٫٢٦٩ وللاوكسيجين ٠٫٢٦١ كما فى هذا الجدول

اسماء الاجسام	مقدار الحرارة النوعية بالنسبة للماء
هواء	٠٫٢٦٩
اوكسيجين	٠٫٢٦١
ازوت	٠٫٢٥٤
ايدروجين	٢٫٩٣٦
حمض كربونيك	٠٫٢١٧
اوكسيد الكربون	٠٫٢٨٤
ثانى ايدروجين مكربن	٠٫٤٠٧
بخار الماء	٠٫٨٤٧٠

ويمكن بالسهولة تعيين السعة الحرارية للغازات بالنسبة للهواء فيكون قسمة السعة الحرارية للغاز بالنسبة للماء على ٠٫٦٦٩ أى السعة الحرارية للهواء بالنسبة للماء واذا اجريت العملية تحصل للأجسام المرقومة ماتراه فى هذا الجدول

اسماء الاجسام	مقدار الحرارة النوعية بالنسبة للهواء
الهواء	١٫٠٠
اوكسيجين	٠٫٨٨
ازوت	١٫٠٣
ايدروجين	١٤٫٣٤
حمض كربونيك	٠٫٨٢
اوكسيد الكربون	١٫٠٨
ثانى ايدروجين مكربن	١٫٥٧
بخار الماء	٣٫١٤

والحرارة النوعية للغازات تزداد بازدياد الطقس وبازدياد الضغط

الكلام على طريقة تعيين مقدار الحرارة النوعية للغازات

بالنسبة للحرارة النوعية للهواء

سند ١٩٣ اذا مر فى الملتوى المحاط بالماء ثيار ثابت من غاز طقسه أعلى من طقس الماء المحيط بالملتوى اكسبه فى كل لحظة مقدارا من الحرارة وحينئذ يرتفع طقس الماء شيأ فشيأ الى ان يصل الى حد يستقر فيه (وهذا الطقس يسمى الطقس الوقوفى) لان الحرارة المتولدة شيأ فشيأ فى الهواء من الملتوى تزداد شيأ فشيأ والحرارة التى يوزعها الغاز على الملتوى تتناقص فى كل لحظة فاذا اعيدت التجربة بغاز آخر ومُرِّر فى الملتوى بالسرعة

المتقدمة

المتقدمة يوجد انه يوزع على الملتوى مقدار آخر من الحرارة وعليه لا يكون مقدار الطقس الوقوفي فيهما واحدًا وبهذه الطقوس الوقوفية يتوصل بالسهولة لتعيين السعة الحرارية للغازات

ويتضح ذلك اذا فرض س السعة الحرارية للغاز و ط طقسه عند دخوله في الملتوى و هـ طقسه عند خروجه منه وقتما يصل طقس ما المتلوى للطقس الوقوفي و ث السعة الحرارية للهواء و طَ طقس الهواء وقت دخوله في الملتوى و هَ طقسه عند خروجه وقتما يصل طقس ما المتلوى للطقس الوقوفي و ح حجم الهواء المساوي لحجم الغاز المراد تعيين سعته الحرارية فيكون مقدار الحرارة التي يكتسبها الملتوى من حرارة الغاز الذي حجمه ح هكذا

ح س (ط - هـ)

ويكون مقدار الحرارة التي يكتسبها الملتوى من حرارة الهواء الذي حجمه ح هكذا

ح ث (طَ - هَ)

وكل من هاتين الكميتين يدل على مقدار الحرارة المتلاشية في الهواء من الملتوى لان طقسي ما وقوفيان ومن المعلوم ان مقدار الحرارة المتلاشية يناسب زيادة طقس الملتوى عن طقس الهواء المحيط به (بموجب قانون المعلم نوتن) فحينئذٍ اذا رمزنا بالحرف ص لطقس الهواء في التجربة الاولى وبالحرف صَ لطقسه في التجربة الثانية كانت مقدار الزيادة في الاولى هـ - ص ومقدارها في الثانية هَ - صَ وحينئذٍ يكون

$$\frac{ح\,س\,(ط - هـ)}{ح\,ث\,(طَ - هَ)} = \frac{هـ - ص}{هَ - صَ} \quad \text{أو}$$

$$\frac{س\,(ط - هـ)}{ث\,(طَ - هَ)} = \frac{هـ - ص}{هَ - صَ}$$

وهي معادلة يمكن ان يستخرج منها مقدار السعة الحرارية للغاز بالنسبة للسعة الحرارية للهواء المتحد معه حجمًا

وقد علم بالتجربة ان مقدار السعة الحرارية لكل من الهواء والاوكسيجين والايدروجين والازوت واوكسيد الكربون واحد وان مقدار السعة الحرارية لحمض الكربونيك بالنسبة للهواء ١٫٢٥ ومقدار السعة الحرارية لثانى ايدروجين مكربن ١٫٥٥ ومقدار السعة الحرارية لبخار الماء ١٫٩٦

١٩٤ اضبط الطرق التى استعملت فى البحث عن مقدار السعة الحرارية للغازات ذات الحجم الواحد هى طريقة المعلم دولنغ وهى مؤسسة على سرعة انتشار الصوت فى السوائل المرنة فاذا رمز بالحرف س لسرعة الصوت فى الغاز فى درجة الصفر وبالحرف ح لشدة التثاقل وبالحرف ط لضغط الغاز وبالحرف ك لكثافته بالنسبة للزيبق وبالحرف ث لسعته الحرارية بالنسبة للهواء باعتبار ثبات الضغط وبالحرف ثَ لسعته الحرارية بالنسبة للهواء باعتبار ثبات الحجم تحصل

$$س = \sqrt{\frac{ح ط}{ك} \times \frac{ث}{ث'}}$$

فعلى هذا اذا علمت سرعة الصوت فى الغاز فى درجة الصفر وسعته الحرارية تحت ضغط ثابت علمت بالسهولة سعته الحرارية باعتبار الحجم المعين

مثلاً اذا اريد تعيين السعة الحرارية للهواء باعتبار الحجم المعين نضع فى القانون ٢٢٣ بدل س ٩٫٨٠٨٨ بدل ح ٧٦٫٠ بدل ط ١ بدل ك فيحدث $\frac{ث}{ث'} = 1{,}4141$ ومنه يحدث

$\frac{ث'}{ث} = \frac{1}{1{,}4141}$ فهذه هى النسبة بين السعة الحرارية للهواء باعتبار الحجم المعين وبين سعته الحرارية باعتبار الضغط المعين ومقدار هذه النسبة لا يتغير بتغير ط لان خارج قسمة ط على ك ثابت بموجب قانون المعلم ماريوت

وقد وجد المعلم دولنغ ان مقدار السعة الحرارية فى كل من الهواء والاوكسيجين والايدروجين والازوت واوكسيد الكربون واحد وان مقدار السعة الحرارية لحمض الكربونيك

٠٫٠٠٠٤٩ر١ بالنسبة للهواء ومقدار السعة الحرارية للاوكسيد الازوت ٠٫٠٠٠٢٧ر١ ومقدار السعة الحرارية لثاني ايدروجين مكربن ٠٫٠٠٠٥٤ر١

ومقدار السعة الحرارية للغاز باعتبار الضغط المعين هو دائماً اكبر من مقدار سعته الحرارية باعتبار الحجم المعين فهذا دليل على ان كمية الحرارة اللازمة لاحداث زيادة في الطقس مع التمدد اكبر من كمية الحرارة اللازمة لاحداث الزيادة المذكورة بدون تمدد فيعلم من هذا أن الغاز عند تمدده يتشرب مقداراً من الحرارة ولنختبر الهواء مثلاً ونبحث عن كمية الحرارة التي يتشربها عند تمدده فنقول اذا جعل الواحد رمزاً لكمية الحرارة اللازمة لرفع سخونة وحدة الحجم من الهواء درجة واحدة بفرضه ممنوعاً عن التمدد كان مقدار الحرارة اللازمة لتسخين حجم مثله بمقدار درجة واحدة ان لم يكن ممنوعاً عن التمدد هكذا ٠٫٠٠٠٤٧١ر١ والفرق الذي هو ٠٫٠٠٠٤٧١ر٠ هو مقدار الحرارة اللازمة لاحداث التمدد الذي ينتج من ارتفاع الطقس درجة واحدة اي اللازمة لتمدد الهواء بمقدار ٠٫٠٠٠٣٦٦ر٠ من حجمه في درجة الصفر فيعلم من ذلك ان الهواء عند تمدده بمقدار ٠٫٠٠٠٣٦٦ر٠ من حجمه الأصلي يتشرب كمية من الحرارة تكفي لتسخين حجم مثله من الهواء المظروف في ظرف ممنوع بالكلية عن التمدد بمقدار به يرتفع طقسه ٠٫٠٠٠٤٧١ر٠ درجة

الدرس الخامس والثلاثون

في تغيير الحرارة حالة الاجسام

في الذوبان

١٩٥ عند متى سرت الحرارة في الجسم الجامد باعدت اجزاءه عن بعضها شيئاً فشيئاً فتزايد القوة الدفعية الحرارية وتتناقص القوة الجذبية الجوهرية وتصير غير كافية لحفظ الجسم في الحالة الجامدة فيستحيل الى سائل وهذه الاستحالة هي الذوبان

فحينئذٍ يقال الذوبان استحالة الجسم من الجمود الى السيولة بواسطة الحرارة وقد علم بالتجربة ان الجسم متى اخذ فى الذوبان لا تزيد درجة حرارته حتى يتم ذوبانه وما زاد من الحرارة فى هذه المدة يتشربه ولا يدرك بالترمومتر فلذلك يسمى بالحرارة الكامنة وسيأتى الكلام عليها فى سند ١٩٦

ثم ان من الأجسام ما يذوب بحرارة قليلة كالجليد والشمع والشحم والراتنج والكبريت ونحوها ومنها ما يذوب بحرارة زائدة كالقصدير والرصاص ومنها ما يذوب بحرارة اقوى من تلك كالذهب والفولاذ والحديد ومنها ما لا يذوب الا بحرارة صناعية مخصوصة كالپلاتين فانه لا يذوب الا بتسليط تيار لهب مكون من جزئين من غاز الايدروجين وجزء من الاوكسيجين والأجسام التى لا تذوب بأقوى ما يمكن من الحرارة كحرارة التنانير يقال لها المتعاصية كالپلاتين والروديوم ويمكن اذابتها بتسليط تيار كهربائى قوى جدًا فانه بواسطة ذلك اذيب الفحم الخشبى الذى هو اكثر الأجسام استعصاءً عن الذوبان

جدول درجات ذوبان بعض الاجسام

اسم الاجسام	درجة حرارة الذوبان بالترمومتر	درجة حرارة الذوبان بپيرومتر المعلم ويجود
الجليد	٠	
شحم	٣٣	
شمع	٦٨	
ممزوج مكون من ٥ رصاص و٨ بزموت و٣ قصدير	٩٤	
قصدير	٢٢٨	
بزموت	٢٦٤	

اسما الاجسام	درجه حرارة الذوبان بالترمومتر	درجة حرارة الذوبان بسيرومتر المعلم ريجود
رصاص	٣٦٠	
خارصيني	٣٧٠	
فضه نقيه	١٠٠٠	
النحاس		٢٧
الذهب		٣٢
الحديد		١٣٠
الفولاذ		١٤٠
الكوبلت		١٣٠
النيكل		١٩٠
منجنيز		١٦٠
كولومبيوم		١٧٠
موليبدين		١٧٠
كروم		١٧٠
تونجستين		١٧٠
سيليس		لايذوب بحرارة الشاميرو يذوب بحرارة البورى
بلاتين		شرحه
الومين		شرحه
ربيق	— ٤٠	
فوسفور	+ ٤٤	

اسما الاجسام	درجة حرارة الذوبان بالترمومتر
پوتاسيوم	+ ٥٥
صوديوم	+ ٩٠
كبريت	+ ١١١

الكلام على الحرارة الكامنة

بند ١٩٦ قد ذكرنا في بند ١٩٥ أن الجسم الجامد متى أخذ في الذوبان لا تزيد درجة حرارته حتى يتم ذوبانه وان ما زاد من الحرارة في مدة الذوبان يتشربه الجسم ولا يدرك بالترمومتر فيعلم من ذلك ان الجسم الجامد لا يستقبل المسائل الا بنكون كمية من الحرارة فيه بسببها يبقى الجسم سائلا وكما تسمى بالحرارة الكامنة تسمى ايضا بحرارة الذوبان وتصور معنى الحرارة الكامنة تصورا جيدا يعلم بالتأمل في الكلام على هاتين التجربتين

الاولى اذا مزج كيلوكرام من الماء الذي طعمه ٧٩° من الصفر بمثله من الماء الذي طعمه ٧٩° تحصل كيلوكرامان من الماء طعمه ٧٩° وهو المتوسط بين الطعمين وسبب ذلك اتحاد طبيعة المزوجين وثقلهما الثانية اذا مزج كيلوكرام من الجليد المجروش بمثله من الماء الذي طعمه ٧٩° ذاب الجليد لوقته وتحصل كيلوكرامان من الماء طعمه ٧٩° في الصفر فيشاهد من ذلك ان كمية الحرارة اللازمة لرفع سخونة الكيلوكرام من الماء من درجة الصفر الى ٧٩° تشربها الكيلوكرام من الثلج بدون ان يتغير طعمه وهذه الكمية بين مقدار حرارة ذوبان الثلج اي الحرارة الكامنة فيه ومقدار الحرارة الكامنة يختلف باختلاف الأجسام ولنذكر طريقة لتعيين مقدار الحرارة الكامنة للذوبان فنقول

الكلام على تعيين مقدار حرارة الذوبان الكامنة

سند ١٩١ لايجاد مقدار حرارة الذوبان الكامنة في جسم كحرارة ذوبان الرصاص الكامنة مثلاً يؤخذ مقدار منه ويعين ثقله وطقه ثم يصب في آ ثقله معين وطقه كذلك ثم يرفع طقس الماء بعد صب الرصاص فيه فعند ذلك تعين كمية الحرارة التي اكتسبها الماء من الرصاص بان يضرب ثقل الماء في حرارته النوعية ويضرب الحاصل في عدد درجات ارتفاع طقه ثم تعين كمية الحرارة التي وزعها الرصاص على الماء بان يضرب ثقل الرصاص في حرارته النوعية ويضرب الحاصل في عدد درجات انخفاض طقه ويضاف الى الناتج مقدار الحرارة الكامنة التي تصرف عند انجماد كمية الرصاص المعدة للتجربة وتساوي كمية الحرارة التي اكتسبها الماء من الرصاص بكمية الحرارة التي وزعها الرصاص على الماء فتحدث معادلة تستخرج منها الكمية المطلوبة

ولايضاح ذلك ان يفرض م ثقل الرصاص و ص طقه و ث حرارته النوعية و س حرارته الكامنة (أعني كمية الحرارة التي تتشربها وحدة الثقل منه عند الذوبان) و ه ثقل الماء و ص طقه و ث حرارته النوعية و ط طقس الماء بعد صب الرصاص فيه فيكون مقدار الحرارة التي اكتسبها الماء من الرصاص هكذا و ث (ط - ص)

واما الرصاص فانه يفقد جزئين من الحرارة أحدهما ناتج من حرارته المدركة بالترمومتر ومقداره يساوي م ث (ص - ط) والآخر ناتج من حرارته الكامنة ومقداره يساوي م س

ومن المعلوم ان كمية الحرارة التي اكتسبها الماء من الرصاص تساوي كمية الحرارة التي وزعها الرصاص على الماء فحينئذ تحدث هذه المعادلة

$$و\ ث\ (ط - ص) = م\ س + م\ ث\ (ص - ط)$$

ومنها ينتج $$س = \frac{و\ ث\ (ط - ص) - م\ ث\ (ص - ط)}{م}$$

الكلام على تعيين مقدار حرارة ذوبان الثلج

اى حرارة الكامنة

١٩٨ معرفة مقدار حرارة ذوبان الثلج مفيدة في الاستعمال وتعرف ايضا بطريقة المزج ولاجل ذلك يؤخذ مقدار من الثلج الذى فى درجة الصفر ويعين ثقله ثم يؤخذ من الماء الساخن مقدار كاف لذوبان الثلج بتمامه ويلقى هذا الثلج فى الماء ويعين طقس المزوج عند ما يتم الذوبان ثم يبحث بالحساب عن مقدار الحرارة التى فقدها الماء ويساوى بمقدار الحرارة التى اكتسبها الثلج من الماء وحيث ان الثلج يتشرب وقت ذوبانه مقدارا من الحرارة يمكن فيه يعلم من ذلك أن مقدار الحرارة التى فقدها الماء يساوى مقدار الحرارة التى كانت فى الثلج زائدا مقدار حرارته المدركة اى غير الكامنة التى اكتسبها من الماء وبواسطة الحساب يتعين المقدار المطلوب

ويتضح ذلك اذا فرض م ثقل الثلج الذى فى درجة الصفر و م ثقل الماء الساخن الذى طقسه ص و ط طقس المزوج وقت ذوبان الثلج بتمامه و س حرارة الثلج الكامنة فيكون ص ـ ط مساويا لمقدار الدرجات التى انخفض طقس الماء بقدرها ويكون م (ص ـ ط) مساويا لمقدار الحرارة التى فقدها الماء

واما الثلج فانه يتشرب وقت ذوبانه كمية من الحرارة تساوى م س وحيث أنه بعد ذوبانه يتسخن ويرتفع طقسه من درجة الصفر الى درجة ط يكون مقدار الحرارة التى يتشربها مساويا لحاصل جمع م س و م ط ومن المعلوم ان كمية الحرارة التى اكتسبها الثلج من حرارة الماء تعادل كمية الحرارة التى فقدها الماء فحينئذ يكون

م س + م ط = م (ص ـ ط)

ومن هذه المعادلة يستخرج

$$س = \frac{م (ص - ط) - م ط}{م}$$

وبهذه الطريقة

وبهذه الطريقة مع الاحتراس عما سبب خطأ في العملية وجد المعلم بر وفسارى والمعلم دين أن مقدار حرارة ذوبان الثلج الكامنة يساوى ٧٩ والمعنى أن الكيلوجرام من الثلج يتشرب وقت ذوبانه مقدارا من الحرارة يصير كامنا فيه بحيث يكفى لرفع سخونة ٧٩ كيلوكراما من الماء درجة واحدة فوق الصفر او لرفع سخونة كيلوكرام من الماء ٧٩ درجة بالابتداء من الصفر

ولبيان تطبيق حرارة ذوبان الثلج يفرض ان المعلوم ٢ كيلوجرامات من الماء طعمه ن وان المطلوب معرفة ثقل الثلج الذى يمزج به ليكون طعم الممزوج ٥ درجات فلحل هذه المسئلة يجعل م ثقل الثلج المطلوب فيكون مقدار الحرارة التى يتشربها الثلج ٧٩ م + ٥ م أى ٨٤ م ويكون مقدار الحرارة التى يفقدها الماء ٢ (ن - ٥) أى ٤٠ فحينئذ يكون ٨٤ م = ٤٠ ومنه م = $\frac{٤٠}{٨٤}$ = ٥٢٥ جراما

الكلام على انحلال الأجسام الجامدة فى الموائع

١٩٩ يشبه انحلال الجسم الجامد فى الماء كوامتزاجه بسبب التفاعل الذى يحدث بين جواهره وجواهر المائع ومن امثلة ذلك الصمغ العربى والسكر واكثر الاملاح فانها تنحل فى الماء

وقد علم بالتجربة ان الجسم متى اخذ فى الانحلال تشرب مقدارا من الحرارة لا يدرك بالترمومتر كما يحصل ذلك فى مدة الذوبان ولذا يشاهد انه اذا انحل احد الأجسام نتج من انحلاله فى الغالب انخفاض الطعم وانما قلنا فى الغالب لان من الأجسام ما اذا انحل لا يغير الطعم ومنها ما اذا انحل أحدث ارتفاعا فى الطعم وسبب هذا الاختلاف هو ان الجسم بانتقاله من الجمود الى السيولة يتشرب مقدارا من الحرارة يصير كامنا فيه فينخفض الطعم وباتحاده بالمائع المحل تتولد حرارة تسبب زيادة فى الطعم فان كان مقدار الحرارة الناتجة من الاتحاد اقل من مقدار الحرارة التى كمنت فى الجسم انخفض الطعم وان تساويا بقى الطعم بعينه وان زاد مقدار حرارة الاتحاد عن مقدار الحرارة الكامنة فى الجسم ارتفع الطعم

الكلام على الانجماد

٢٠٠ يشبه الانجماد استحالة الجسم المائع من السيولة الى الجمود وقد علم بالتجربة ان انجماد الجسم يكون

بقانونين

الأول ان لكل جسم درجة انجماد مخصوصة هي درجة ذوبانه الثاني ان طعم المائع الآخذ في الانجماد لا يتغير حتى يتم انجماده وهذا القانون الثاني نتائج من كون الحرارة الكامنة التي يتشربها الجسم مدة ذوبانه تظهر مدة الانجماد

ثم ان من المواد ما لا ينجمد بأعظم برودة معلومة وذلك كالاللكول والايتير والبنزين فالأجسام التي تستحيل ببطء من السيولة الى الجمودة تتشكل بأشكال هندسية محدودة تسمى بالبلورات فمنها ما يكون شكله ذا اربعة قواعد ومنها ما يكون شكله مكعبًا وغير ذلك فاذا كان ذوبان الجسم بالحرارة كالكبريت والبزموت يقال ان البلور حصل بالطريقة الجافة واما ان كان الذوبان بواسطة مائع يقال ان البلور حصل بالطريقة الرطبة وذلك بأن يترك المائع المحل فيه الجسم المراد بلورته ليتصاعد منه البخار ببطء ومن امثلة ذلك ملح الطعام وكثير من الأملاح الآخر فانها تبلور اذا انحلت في مائع ثم ترك حتى يتصاعد بخار ذلك المائع شيئًا فشيئًا

الكلام على تكون الثلج

ينبغي ان الماء المقطر ينجمد في درجة الصفر ويسمى حينئذ ثلجًا غير ان انجماده لا يحصل الا ببطء لان الجزء الذي انجمد يوزع حرارته الكامنة على ما بقي من المائع ثم ان الثلج تصدر عنه حادثة شهيرة هي قلة كثافته عن كثافة الماء وقد ذكرنا في (بند ٧٩) ان الماء اذا انخفض طعمه لا ينقبض الا الى الدرجة الرابعة فوق الصفر وانه يتمدد من ابتداء هذه الدرجة الى درجة الصفر ثم انه بالبحث عن مقدار حجم الثلج وهو في درجة الصفر وجد انه ١٠٠٠٠ من حجم الماء في الدرجة الرابعة وبسبب هذا التمدد تكون كثافة الثلج ٠٫٩٣٠ من كثافة الماء فهذا هو السبب في كون الثلج يسبح على سطح الماء

ثم ان ازدياد الحجم الذي يأخذه الثلج عند تكونه يكون مصحوبًا بقوة دفعية شديدة بسببها ينفجر الماعون المظروف هو فيه وقد جرب ذلك العلم ڤيليام في انجلترة وذلك انه اخذ بومبة وملأها بالماء وسدها سدًا محكمًا بسدادة من الخشب ووضعها في جو طقسه منخفض عن الصفر بخمس درجات فلما ان السدادة انقذفت بقوة الى بعد كبير وان الثلج طفح على حواشي فتحة البومبة

الكلام على تأخر انجماد الماء

يجب بتأخر طفس انجماد الماء بسبب الاملاح أو المواد الأخر التي تكون محلولة فيه فانها اليوم مثلاً لا تنجمد الا في ـ ٥ درجة

ودرجة انجماد الماء المقطر يمكن ان تتأخر بجملة درجات اذا اخرج منه الهواء الذاري فيه عادة وحفظ من الرج وذلك انه اذا ظرف مقدار منه في اعون محاط بخلوط مبرد ووضع تحت مستوع الآلة المفرغة لاخراج الهواء منه أمكن ان ينخفض طفس الماء الى ـ ١٠ بل اكثر بدون ان يتجمد لكنه يكون مهيأ للانجماد بمعنى اذا دنى حركة تحصل فيه تجمد جزئا منه ويشاهد فيه حينئذ حادثة شهيرة وهي أن الجزء الباقي منه يرجع الى درجة الصفر وهذا ناتج من ان الحرارة الكامنة تظهر بتكون الثلج

الدرس السادس والثلاثون

في غليان السوائل

يجب حيث أن السوائل لا توصل الحرارة توصيلاً جيداً فلو سخن الا بوضعها امام النار أو عليها ومتى سخنت منها اجزاء تمددت وخفت وصعدت فيما بين بقية الاجزاء فيتكون منها تيار صاعد يظهر ويقوى كلما اشتدت سخونتها وبقية الاجزاء تظهر هابطة الى الأسفل ويتكون منها تيار نازل ثم اذا كثرت الاجزاء الصاعدة تجمعت وتزاحمت في الصعود وقابلتها الاجزاء النازلة فتضطرب جملة السائل ويسمع له أزيز هو الغليان والفواقع المرتفعة في ذلك الوقت تكون متكونة من البخار الذي قوة انتشاره مساوية لقوة الضغط الواقع عليه ولولا ذلك لما ارتفعت تلك الفواقع

ومتى تغير الضغط تغيرت درجة الحرارة اللازمة للغليان فالاماكن المساوية لسطح البحر في الارتفاع التي فيها الضغط الجوي ٧٦ سنتيمترا يغلي الماء فيها في ١٠٠° وفي الجبال التي فيها الضغط الجوي ٢٧ سنتيمترا يغلي الماء في خمسين درجة والجبال العالية عن ذلك يغلي فيها الماء في اقل من ذلك

واغرب من ذلك ان الماء الذي درجة حرارته ٢٠° اذا وضع في اناء تحت ناقوس الآلة المفرغة وعمل الفراغ حتى لبخار الآلة على انه درجة التجمد بنحو ٢٠ ميليمترا على الماء كأنه على نار قوية جداً ثم بعد قليل

ينقطع الغليان بسبب ان البخار يملأ الفراغ فيضغط على الماء فيمنعه الغليان فاذا رفع هذا البخار بتشغيل الآلة تجدد الغليان

واغرب من ذلك ان يغلى الماء فى الآلة المذكورة وهو فى درجة الصفر اذا امكن تحميل الفراغ فيها حتى يديله المجار على ان الضغط حينئذ ميلليمتر واحد غير انه من حيث ان البخار دائما يتصاعد ويتسبب عنه الضغط لا يمكن استمرار ذلك والتجربة التى يغلى فيها الماء الساخن من الماء البارد تدل على انه بتنقيص الضغط على السائل قد يغلى وهو فى درجته المعتادة وكيفية ذلك ان تؤخذ كرة طويلة العنق ء ويملأ نصفها ماء ويسخن الى الغليان فيخرج منها الهواء ثم تسد وتقلب كما فى (الشكل ١٣١) فاذا صب على قعرها بعد لحظة ماء بارد فى درجته المعتادة بواسطة انبوبة ك مشقوقة الوسط رجع الغليان الماء الذى فى الكرة حالا وذلك لكون الماء البارد يكثف البخار الضاغط على السائل

فيعلم مما ذكر ان الدرجة التى يغلى بها الماء ليست واحدة فى جميع محال الارض بل هى مختلفة على حسب الضغط الجوى وكلما ضعف الضغط الجوى اسرع غليان السائل ففى مدينة امستردام من الاقليم الشمالية يغلى الماء فى ٩٩٫٣ ف وفى باريس يغلى فى ٩٩٫٧ ف وفى بلاد الموسكوب يغلى فى ٩٩ ف وفى مدريد قاعدة اسپانيا يغلى فى ٩٧٫٨ ف ومتى زاد الضغط عسر الغليان بسبب مدافعة الضغط لفواقع البخار فمنعها الصعود فعلى ذلك لو سخن الماء بنار قوية جدا فى آناء اسطوانى من نحاس أو حديد وكان فيه فتحة صغيرة ذات صمام موضوع عليه ثقل بحيث تضغط عليه ضغطا يساوى عشرين جوا أو ثلاثين أو خمسين امتنع الغليان لان البخار الحاصل فوق السائل من حيث انه لا يمكنه الانطلاق يكون ضاغطا على السائل فيمنعه الغليان ولذا انه لم يكن فى الآناء متانة توقع وانكسر ولو فتح الصمام لاندفع البخار بقوة وارتفع من عشرين قدما الى ثلاثين وهذا الآناء هو المسمى بطنجير پاپان لانه هو الذى اخترعه لتليين العظام والعاج ونحوهما فى مائة الحمار الذى فى جوفه وكان ذلك سببا فى اختراع الاوتوكلاو اى الطنجير الذى ينغلق بنفسه وهو آناء كالسابق له صمام صغير ذو لولب قوى وفتحته بيضية يمر منها غطاء اكبر منها محكم الوضع بحيث يدفعها اذا دفعه البخار الى اعلا ويخرج من تلك الفتحة

ثم ان كانت السوائل محلولا فيها جواهر غريبة احتاج غليانها الى زيادة حرارة

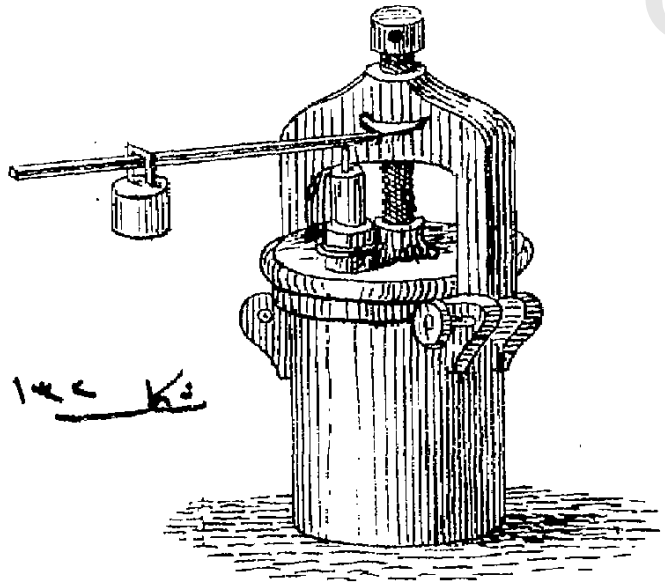
فالماء المشبع بملح الطعام يغلى فى ١٠٩ ف

والمشبع بملح البارود يغلى فى ١١٦

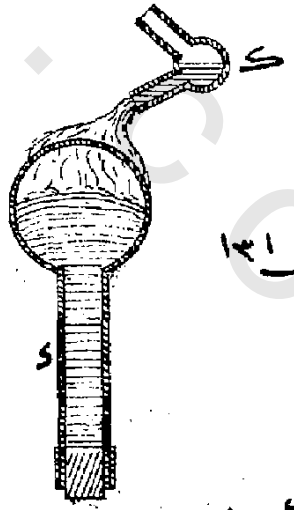
والمشبع بكربونات البوتاسة يغلى فى ١٣٥

والمشبع بكلورور الكلسيوم يغلى فى ١٧٩

ومع ذلك فالبخار لا يكون الا من الماء فقط وليس فيه شئ من تلك الجواهر فان كانت الجواهر الغريبة مما لا يحل فى الماء كالرمل لا يحتاج غليانه الى زيادة الحرارة وماله تاثير فى درجة الغليان طبيعة الاوانى التى يكون فيها السائل فاذا كان فى اناء من زجاج كان غليانه ابطأ مما اذا كان من معدن وعلة ذلك هى زيادة التصاق اجزاء السائل بالاناء عند ملامسة سطحه فتحتاج الحرارة حينئذ الى زيادة قوة بها ينفصل السائل عن ذلك السطح حتى يحصل الغليان والسائل لا ينفصل عنها الا برجات قوية ربما احدثت من بعض السوائل الثقيلة كالاسيد سولفوريك كسر الاناء والذى يمنع هذا وضع قطع من جسم خشن يسهل مرور فواقع السائل وقت تسخينه لان الفواقع اذا لامست الخشونة تكون اقل ثباتا مما اذا لامست النعومة



شكل ١٣٢



شكل ١٣١

وماله تأثير فى درجة الغليان عمق السائل وذلك ان الغليان لا يحصل الا اذا كانت قوة البخار الصاعد من قرار الماعون مساوية لثقل الجو مضافا اليه ثقل عمود السائل المظروف فى الماعون

فاذا ملؤ ماعون بالماء وكان عمقه خمسة امتار مثلاً كان مقدار الضغط الواقع على الطبقات التي في قرار الماعون مساوياً لجو ونصف وحينئذٍ لا تتكون الفواقع قبل ان تصل درجة الحرارة الى حد به تكون قوة امتداد البخار مساوية للضغط الواقع على اسفل طبقات السائل وهو في هذا المثال ١٫٥ فعلم من هذا ان درجة حرارة طبقات السائل ليست واحدة بل هي في الطبقة العليا اقل منها في السفلى فان درجة غليان الطبقة العليا ١٠٠°

ومن اغرب ما شوهد انه لو حميت بودقة من معدن حتى احمرت احمراراً شديداً ثم اسقط فيها بعض قطرات من الماء التي لم تكونت تلك القطرات كرة تقريباً تكث لحظة او تدور على نفسها بسرعة ولا تغلي ولا يدرك تناقص حجمها فاذا رفعت البودقة عن النار ورجعت الى الاحمرار المشوب بسمرة غلا الماء بقوة دفعة وانقذف من كل جهة

وقد ظن للعلم بوتينيي ان السبب الذي يمنع المائع عن ان يبل المعدن قوة دفعية تحدث بين الجسم الحامي والمائع وهذه القوة تكون شديدة كلما كان الطقس مرتفعاً (هذا وفي توضيح هذه الحادثة آراء اشتى عدلت عن ذكرها هنا لما فيها من التطويل الذي لا طائل تحته)

جدول تبين منه درجة غليان بعض السوائل

اسماء الاجسام	درجة الغليان	اسماء الاجسام	درجة الغليان
ماء	١٠٠	محلول مشبع من نترات الصودة	١٠٠ ر ٧
الكحول	٧٨ ر ٨	محلول مشبع من خلات الرصاص	١٠٤ ر ٠
ايتير	٣٥ ر ٥	محلول مشبع من نترات الصودة	١٠٦ ر ٩
حمض كبريتيك	٣١٠ ر ٠	محلول مشبع من نترات الامونياك	١١٤ ر ٤
زيت الكمأن	٣١٦ ر ٠	محلول مشبع من نترات الامونياك	١٤٥ ر ٣
زئبق	٣٦٠ ر ٠	محلول مشبع من نترات البوتاس	١٤٠ ر ٠
ايتير كبريتيك	٣٧ ر ٨	زيت الترمنتينا	١٥٧ ر ٠

الدرس السابع والثلاثون

في الابخرة

يعلم اذا غلى سائل وكان مكشوفاً للهواء تصاعد بخاراً من وقت الغليان ولا تزيد درجة حرارته حينئذٍ ولو كثرت ما كثرت بل تزيد قوة التصعيد وما زاد من الحرارة يتشربه البخار ولا يدرك بالترمومتر ولذلك يسمى بالحرارة الكامنة وقد علم بالتجربة ان الجرام الواحد من بخار الماء يحمل مقداراً عظيماً من الحرارة الكامنة بحيث يكفي لان يسخن خمسماية واربعين جراماً من الماء درجة واحدة فوق الصفر

ولو وضع تحت ناقوس الآلة المفرغة اناء واسع من زجاج محتوٍ على مقدار من الاسيد سولفوريك المتركز ووضع اعلاه ببعض قواريط جفنة معدنية رقيقة مسطحة فيها قليل من الماء ثم عمل الفراغ على الماء فاذا دووم على تشغيل الآلة لعمل الفراغ ما امكن ظهر بعد بعض دقايق في الجفنة بللورات ابرية من جليد ثم يجمد الماء كله وذلك حاصل من انه كلما تكون شيء من بخار الماء تشربه الحمض فتصير استحالة البخار اسرع وتناقص حرارة الماء ازيد فيجمد الماء

والدليل على ان البخار يتصاعده يجذب معه مقداراً عظيماً من الحرارة ان السوائل الطيارة اي التي تصعد بخاراً كالخل والالكول والابثير اذا وضعت على الجلد احس ببرد شديد في محلها وما ذاك الا من جذب البخار جزأً من حرارة الجلد

واذا اخذت قنينة صغيرة رقيقة الجدران وملئ نصفها ماء ثم لفت بقطن ورش على ذلك القطن ابثير ثم ربط بعنقها خيط واديرت كالمقلاع بعض دقائق لاجل سرعة تصاعد البخار جمد الماء الذي فيها

ومن المطيار جذا الاسيد سولفوريك الخالي عن الماء بالكلية فاذا وضع مكشوفاً للهواء قريباً من طاسة فيها زيبق جمد الزيبق بعد بعض دقائق وهو لا يجمد الا في درجة اربعين تحت الصفر

ومن المعلوم ان تبريد المشروبات انما هو بتصعيد البخار منها ولذلك كانت القلل التي تشرب

منها في الديار المصرية معدة لتبريد الماء بسبب انه يرشح منها الماء الكثرة المسام فيها ويحيله الهواء بخارًا سيما اذا كانت في مهب الهواء والتفسن الجلدي في الانسان من هذا القبيل فهو واسطة بها تحفظ درجة حرارته على نسق واحد في جميع العروق حتى في اشدها حرًا ولذلك يحصل تعب زائد من الحرارة اذا لم يستحل العرق في بخارًا بسهولة كما في زمن الهواء الرطب جدًا

واذا عرضت السوائل للهواء الحار اليابس المتحرك استحالت الى بخار بسطى ان لم تكن اسطحها واسعة والا استحالت الى البخار سريعًا كما يشاهد في الارض المبتلة فانها تيبس سريعًا من الهواء لاتساع سطحها وقد ذكرنا ان البخار يجتمع في الفضاء ويتكون فيه والدليل على ذلك انه لو ادخل في فضاء البارومتر المنقلب في حوض الزيبق مقدار يسير من الايثير او من الماء بواسطة انبوبة منعطفة الطرف لاستحال الايثير او الماء بخارًا وهبط الزيبق فلو غمست انبوبة البارومتر في الحوض اكثر مما كانت ليضغط الزيبق على البخار الذي فوقه لانضغاط جزء من ذلك البخار

ثم ان الابخرة المتصاعدة من تأثير النار لها قوة انتشار عظيمة فهي كالغازات دائمًا تنتشر فيما حولها من الفضاء حتى تصادف ما يعوقها عن الانتشار وقد علم بالتجاريب والحساب ان السنتيمتر المكعب من الماء اذا صار بخارًا في درجة ١٠٠ وتحت ضغط ٧٦ر٠ مترًا ينتشر في مسافة الف وستمائة وتسعة وثمانين سنتيمترًا مكعبًا او الف وسبعماية تقريبًا فاذا كانت الابخرة غزيرة والحرارة مرتفعة نشأ عن قوة الانتشار المذكور نتايج قوية خارقة للعادة فتقذف بتلك القوة اجسام زائدة في الثقل وفي الحجم وتكسر منها اجسام شديدة المقاومة جدًا كما شوهد في انفجار الآلات المشغلة بالبخار

الكلام على طريقة تعيين مقدار حرارة البخار الكامنة

يحتاج لتعيين حرارة البخار الكامنة تؤخذ معوجة ح ويوضع فيها المائع المراد معرفة حرارة بخاره الكامنة ويدخل طرف عنقها في الملتوى س س المظروف في الماء الكائن في الماعون م وتسخن المعوجة ويعين ملفس البخار بالترمومتر ت قبل دخوله في الملتوى ثم بعد دخوله في الملتوى يعين ملفس الماء الكائن في الماعون م بواسطة الترمومتر ن ر ويوزن الماء النازل في الاناء ا ليعرف

مقدار حرارة البخار الكامنة (شكل ١٣٢)

وايضاح ذلك ان نفرض م ثقل البخار المتكاثف و ص طقسه عند دخوله في الملتوى و س حرارته الكامنة و م ثقل الماء الكائن في الماعون م مضافاً اليه ثقل الملتوى والماعون المحولين الى الماء و ص طقس الماء قبل انتهاء التجربة و ط طقس الماء في آخر التجربة

فلقياس كمية الحرارة المتصرفة من البخار نلاحظ في ابتداء التجربة ان الماء الناتج من التكاثف يخرج بطقس ص ويكون طقسه في آخر التجربة ط فيعتبر انه يخرج مدة التجربة بتمامها بطقس متوسط قدره $\frac{ص+ط}{٢}$ وحينئذ يكون مقدار الحرارة المتصرفة من البخار الذي ثقله م هكذا

م (ص − $\frac{ص+ط}{٢}$) وحيث ان البخار وقت انبياعه يصرف حرارته الكامنة يكون مقدار الحرارة التي يصرفها م س ويكون مقدار الحرارة التي اكتسبها الماعون م والملتوى س س والماء المحيط به هكذا م (ط − ص) فيكون

م س + م (ص − $\frac{ص+ط}{٢}$) = م (ط − ص)

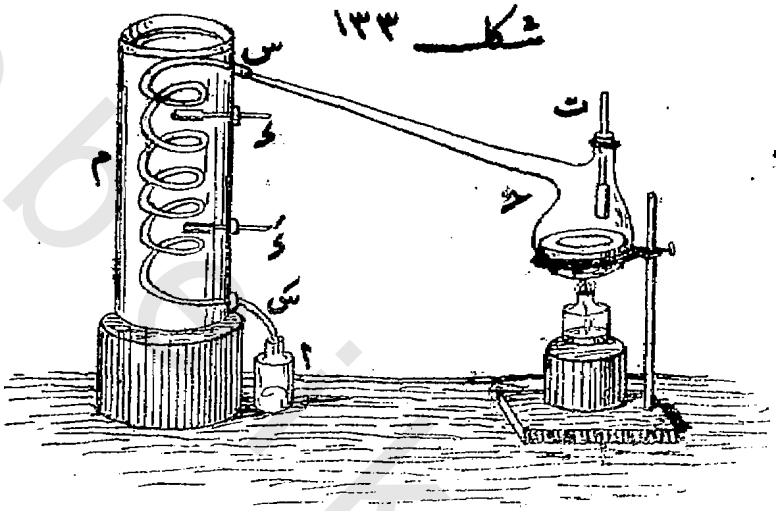
ومن هذه المعادلة يستخرج س فاذا اجريت هذه العملية على بخار الماء يظهر أن حرارته الكامنة تساوي خمسمائة وأربعين وحدة والمعنى ان الجرام الواحد من الماء الذي طقسه ١٠٠° يتشرب مقداراً من الحرارة يكفي لتسخين ٥٤٠ جراماً من الماء درجة واحدة فوق الصفر

جدول تبين مقدار الحرارة الكامنة لبعض الابخرة

اسماء الأجسام	درجة الغليان	مقدار حرارة البخار الكامنة
ماء	١٠٠	٥٤٠
الكول	٧٨,٣	٢٠٠
ايتير	٣٥,٥	٩٠

فى قياس قوة انتشار بخار الماء فى الدرجات التى بين الصفر والمائة

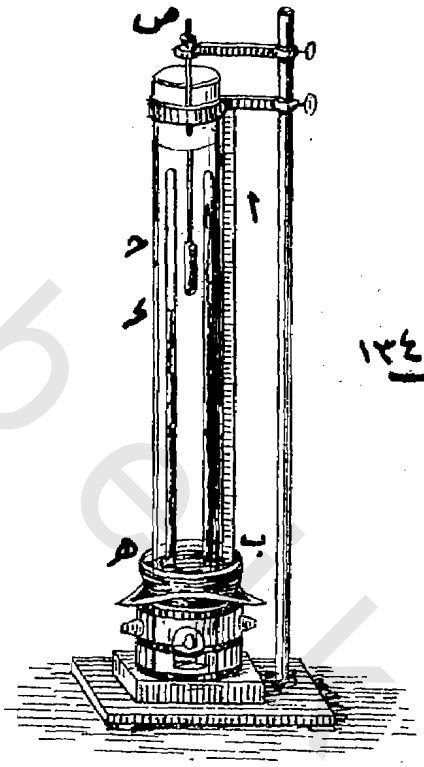
شكل ١٣٣



يبين كيفية ذلك ان تؤخذ انبوبتان بارومتريتان اب وحهـ وتغمسا معا فى حوض من الزيبق ويدخل فى الثانية منهما هـ هو فوق الزيبق الذى فيها قليل من الماء ثم يدخلان معا فى انبوبة قطرها من ثلاثة قراريط الى اربعة وطولها ثلاثون قيراطا تقرر من قاعدتها فى الحوض ثم يوضع فيها الماء حتى يجاوز الانبوبتين اب وحهـ اللتين فى باطنها ثم يوضع الحوض على كانون ويسخن تدريجا ثم ينظر فى ارتفاع البارومترين ويطرح ارتفاع هـ ى من ارتفاع اب فيكون الباقى جـ ى مساويا لقوة انتشار البخار المقابلة للطقس الذى بلغه البارومتر ص الموضوع فى باطن الانبوبة فاذا كررت هذه التجربة فى سوائل مختلفة عرف أن قوة انتشار بخار أى سائل فى درجة الغليان تساوى الضغط الجوى الذى مقداره المتوسط ٧٦٠ ميليمترا ولذلك ينخفض زيبق الأنبوبة الثانية حهـ الى تسوية زيبق الحوض (شكل ١٣٤)

فى قياس قوة انتشار بخار الماء فى الدرجات التى تحت الصفر

يبين كيفية ذلك ان تؤخذ انبوبتان بارومتريتان اب وحهـ وتغمسان فى حوض الزيبق كما مر لكن يلزم ان تكون الأنبوبة الثانية حهـ التى يدخل فيها قليل من الماء منعطفة من طرفها العلوى كما فى الشكل ليعرف هذا الطرف فى مخلوط مبرد يوضع فيه ترمومتر ص ليبين درجة حرارة ذلك المخلوط وقليل الماء ينقص شيأ فشيأ حتى يزول لان قوة انتشار البخار المتكون منه اعظم من قوة انتشار البخار المتكاثف فى نهاية الجزء المنعطف بسبب البرد فيذهب اليه ويتكاثف فيه حتى يزول بالكلية

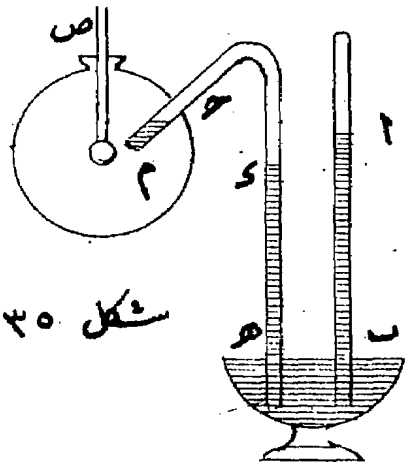


شكل ١٣٤

وفى بعض الأحيان قد تكون الاستحالة البخارية قوية فيتجلد الماء فوق الزئبق وحينئذ لا يزول الا بعد زمن طويل فيستدل بذلك على ان الجليد يصعد منه بخار وتتعين قوة انتشار البخار بطرح الارتفاع هو من الارتفاع اب (شكل ١٣٥)

فى قياس قوة انتشار بخار الماء فى الدرجات التى فوق المائية

يتركب الجهاز المستعمل لذلك من طنجير من الصلج الثخين سعته نحو ثمانين لترًا وبالقرب من وسط غطائه انبوبة رأسية من الحديد منعطفة من طرفها العلوى تتصل بآناء متين من الحديد الزهر يستطرق لانبوبتين احداهما واصلة للمانومتر المدرج المتصل بالهواء الخارج والاخرى واصلة لانبوبة من البللور ب ح متصلة بانبوبة الحديد ا ى بالقرب من فتحة الآناء



شكل ١٣٥

فيبتداء بادخال مقدار من الزئبق فى الآناء ثم يصب عليه مقدار من الماء حتى يصل لنهاية ا من انبوبة الحديد فتصير تسوية الزئبق فى الآناء وفى انبوبة البللور ب ح واحدة لان سطحى الزئبق فيهما مضغوطان بمقدار واحد بخلاف تسويته فى المانومتر فانها تكون على ارتفاع آخر بسبب الهواء المحصور فيه

فاذا سخن ماء الطنجير وفتح الطرف العلوى من انبوبة الحديد لاخراج الهواء ثم سدت جميع المنافذ التى فى الطنجير ضغط البخار على جميع اجزاء الطنجير بما الطبقة الأولى من الماء الذى فى انبوبة ا ى

فيصل الضغط لزئبق الآناء ولزئبق انبوبة البلور ولهواء المانومتر ولتعيين مقداره يضم ارتفاع العمود الزئبقي م ؟ المرتفع في المانومتر عن تسوية الزئبق في انبوبة البلور د ه للضغط المطابق لحجم هواء المانومتر ويطرح مقدار الضغط المطابق لعمود الماء المحصور بين تسوية الزئبق في انبوبة البلور والنقطة ؟ ولأجل ان لا يسخن الماء الذي في الجزء ؟ من البخار يحاط جزء من الانبوبة اي يغمر به تيار من الماء البارد فتى وصل البخار الى الماء البارد الذي في الانبوبة يتكاثف فيها ويتقاطر في الطنجير ولهذا الوضع فائدة اخرى وهي حفظ انبوبة اي ممتلئة بالماء مدة التجربة

ولأجل تعيين طقس البخار المقابل لضغط معين يوضع الترمومتر في اسطوانة من الحديد نازلة من غطاء الطنجير الى قرب قاعدته وفيها زئبق ويلزم ان تكون انبوبة الترمومتر طويلة منعطفة على زاوية قائمة وان يدخل جزء ها المنعطف في عمد افتى يمر به تيار من الماء يتعين طقسه بالترمومتر الذي فيه فبهذين الترمومترين يتعين طقس البخار بواسطة الحساب

ويتضح ذلك ان نفرض ط طقس البخار بحسب الظاهر و ص طقس الماء الذي في الغمد و س الطقس الحقيقي للبخار و ك مكور تمدد الزئبق وهو في الزجاج ونفرض أن قضيب الترمومتر مغموس في الغمد من ابتداء صفره فيكون مقدار الطقس الحقيقي للبخار مساويًا الطقسه الظاهري ط مضافًا اليه مقدار التمدد الذي يمدده العمود الزئبقي ط لينتقل من الطقس ص الى الطقس س أعني ليسخن بمقدار س - ص درجة وهذا التمدد يساوي ط ك (س - ص) فيكون

$$س = ط + ط ك (س - ص)$$ ومنها يحدث

$$س = \frac{ط (١ - ك ص)}{١ - ك ط}$$

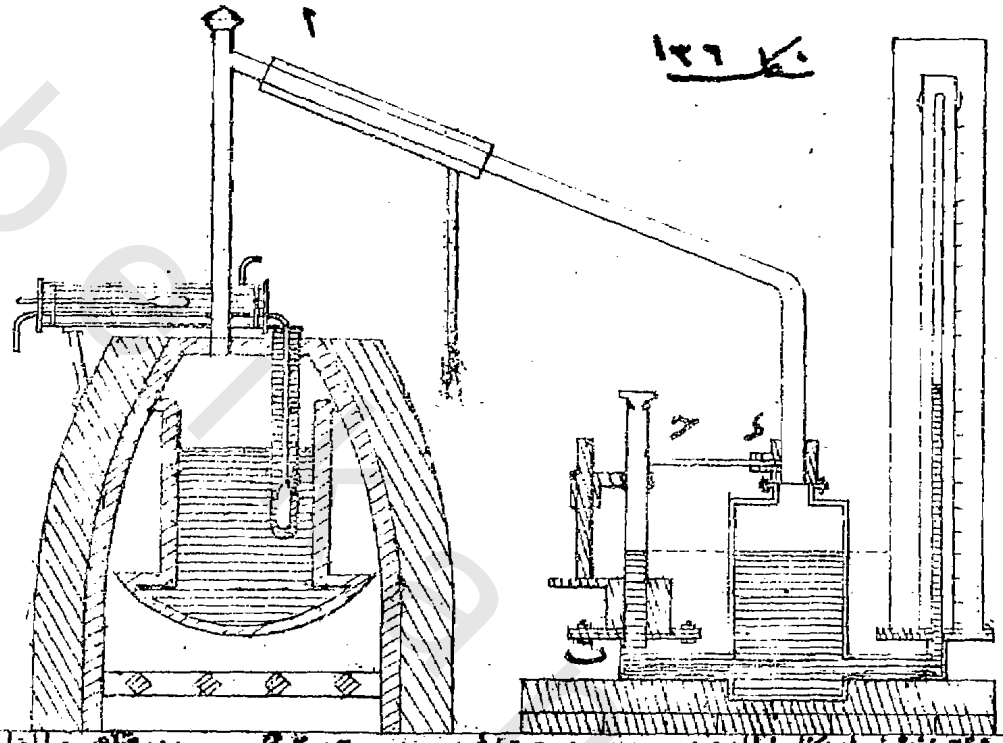
وقد عين المعلم دلنغ والمعلم اراغو بواسطة هذا الجهاز قوة انتشار بخار الماء الى ٤٠ جوًا ثم استنتجا مما ظهر لهم قانونًا بسيطًا يؤخذ منه الارتباط الكائن بين قوى الانتشار والطقس المطابقة لها وهذا القانون هو ق = $(١ + ٠٫٠٣٦٧١٥ ص)^{٥}$ وحرف ق فيه يبين قوة انتشار البخار بالجو و ص يبين الطقس بدرجات الترمومتر المائي بالابتداء من المائة أي بجعل المائة وحدة

فعلى هذا

فعلى هذا اذا اريد معرفة قوة انتشار بخار الماء فى ١٦٠ درجة يجعل فيه ص = ٦٠ ٥/٠

وقد استعمل هذا القانون العلمانى المذكوران وعينا به قوة انتشار بخار الماء الى ٥٠ جوّ

نمرة ١٢٦



جدول يتبين منه قوة انتشار بخار الماء من — ٣٠ درجة الى ١٠٠ درجة حسب ما شاهده العلم رنيو

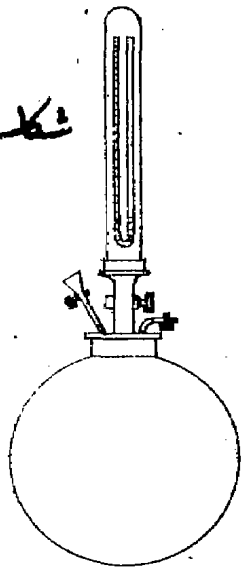
الحرارة	قوة الانتشار بالملليمتر من الزئبق الذى فى درجة الصفر	الحرارة	قوة الانتشار بالملليمتر من الزئبق الذى فى درجة الصفر	الحرارة	قوة الانتشار بالملليمتر من الزئبق الذى فى درجة الصفر
— ٣٠	٠٫٣٦٥	١٥	٤٫٦٩٩	٦٠	١٤٨٫٧٩١
— ٢٥	٠٫٥٥٢	٢٠	١٧٫٣٩١	٦٥	١٨٦٫٩٤٣
— ٢٠	٠٫٨٤١	٢٥	٢٣٫٧٥٠	٧٠	٢٣٣٫٠٩٣
— ١٥	١٫٢٨٤	٣٠	٣١٫٥٤٨	٧٥	٢٨٨٫٥١٧
— ١٠	١٫٩٦٣	٣٥	٤١٫٨٢٧	٨٠	٣٥٤٫٦٤٣
— ٥	٣٫٠٠٤	٤٠	٥٤٫٩٠٦	٨٥	٤٣٣٫٠٤١
٠	٤٫٦٠٠	٤٥	٧١٫٣٩١	٩٠	٥٥٥٫٤٥٠
٥	٦٫٥٢٤	٥٠	٩١٫٩٨٤	٩٥	٦٣٣٫٧٧٨
١٠	٩٫١٦٥	٥٥	١١٧٫٤٧٨	١٠٠	٧٦٠٫٠٠٠

جدول يبين منه قوة انتشار بخار الماء مقدرة بالجيو بالابتداء من درجة ١٠٠ الى ٩ر٤٥ مجة على حسب تجارب المعلم دولنج والمعلم الراغو

الطقس	عدد الجيو	الطقس	عدد الجيو	الطقس	عدد الجيو
١٠٠	١	١٦٩ر٤	٧ ½	٢١٤ر٧	٢٠
١١٨ر٤	١ ½	١٧٨ر١	٨	٢١٧ر٢	٢١
١٤١ر٤	٢	١٧٧ر١	٩	٢١٩ر٦	٢٢
١٦٥ر٨	٢ ½	١٨١ر٦	١٠	٢٢١ر٩	٢٣
١٣٥ر١	٣	١٨٦ر٠	١١	٢٢٤ر٢	٢٤
١٤٠٥ر٦	٣ ½	١٩٠ر٠	١٢	٢٢٦ر٤	٢٥
١٤٥ر٤	٤	١٩٣ر٧	١٣	٢٣٦ر٢	٣٠
١٤٩ر١	٤ ½	١٩٧ر٢	١٤	٢٤٤ر٨	٣٥
١٥٢ر١	٥	٢٠٠ر٥	١٥	٢٥٢ر٥	٤٠
١٥٣ر٨	٥ ½	٢٠٣ر٦	١٦	٢٥٩ر٥	٤٥
١٦٠ر٥	٦	٢٠٦ر٦	١٧	٢٦٥ر٩	٥٠
١٦٢ر٥	٦ ½	٢٠٩ر٤	١٨		
١٦٦ر٥	٧	٢١٢ر١	١٩		

الدرس الثامن والثلاثون
فى مخلوط الابخرة بالغازات وفى كثافات الابخرة

٢٠٩ اذا ادخل ماء او طيار فى مساقة محتوية على غاز ما تصاعد منه بخار بقوة مساوية لقوة انتشاره فى الفراغ التام غير ان الفرق فى الحالتين هو ان البخار يتكون فى الغازات ببطء ويتكون فى الفراغ بسرعة ويمكن تحقيق ذلك بالتجربة كما فعل ذلك المعلم غاى لوساك والمعلم دالتون والمعلم رينولت ولنذكر هنا جهاز المعلم دالتون فنقول انه لاستعمل جهازاً لتحقق ما ذكر كائناً ما كان الطقس وهو مكون من قارورة من الزجاج كما فى (الشكل ١٣٧) يعلوها اسطوانة مثبت فيها مانومتر صغير ويمكن أن يعمل فيها الفراغ بواسطة الانابيب والحنفيات أو أن يُدخل فيها الغاز والمائع المعد ذلك للتجربة فيدخل فيها اولاً الغاز وحده وتغمر القارورة فى حمام ثم يدخل فيها البخار وينظر فى المانومتر فى التجربتين المتواليتين فيدل فرق الطقسين على مقدار ضغط البخار الكائن فى المخلوط وبهذه الطريقة وجد ان قوة انتشار البخار فى الغاز او فى الفراغ واحدة اذا كان الطقس واحداً



شكل ١٣٧

مسائل مختصة بالمخاليط المكونة من الغازات والابخرة

٢١٠ بواسطة القواعد المتقدمة يمكن حل كثير من المسائل التى تقع غالباً فى مباحث الطبيعة والكيميا ولنقتصر هنا على ذكر بعض منها فنقول

المسئلة الاولى

ما عون جدرانه قابلة للتمدد محتوٍ على حجم قدره ح من غاز جاف تحت ضغط قدره ط فما يكون ح الذى هو حجم الماعون اذا صار الغاز مشبعاً بالرطوبة بفرض ثبات الضغط والطقس الخارجين

فالجواب ان يقال حيث ان كلا من الغاز والبخار المكون منها الممزوج يشغل في حد ذاته الحجم بتمامه يكون حجم الممزوج مساويا لحجم الغاز محولا الى الضغط الواقع عليه وهو ط الممزوج وهذا الضغط يتحصل بسهولة لانه يساوي الفرق ط - ه بين قوة مرونة الممزوج وقوة مرونة البخار فحينئذ تتحول المسئلة الى انه اذا كان المعلوم حجم ح من غاز تحت ضغط ط والمطلوب معرفة حَ الذي هو حجم هذا الغاز تحت ضغط قدره ط - ه يقال في حل هذه المسئلة ان الحجم يصير حَ = $\frac{ح ط}{ط - ه}$ (بمقتضى قانون المعلم ماريوت) فاذا علم حَ الذي هو حجم الغاز المرطب استنتج من المعادلة المذكورة ح الذي هو حجم الغاز الجاف

المسئلة الثانية

ما عون يعلم انه قابل للتمدد بحيث على حجم قدره ح من غاز جاف طقسه ص وتحت ضغط قدره ط فليكن الحجم حَ من الغاز اذا صار مشبعا بالرطوبة بفرض أن طقس الممزوج صار صَ وان الضغط صار طَ

فالجواب ان يقال اذا رمز بالحرف ه لقوة انتشار البخار في الطقس صَ أمكن ان تحول المسئلة المفروضة بمقتضى الاعتبارات السابقة الى انه اذا كان المعلوم حجم قدره ح من غاز طقسه ص وتحت ضغط ط والمطلوب معرفة الحجم حَ من هذا الغاز حين يكون الطقس صَ والضغط طَ - هَ يقال في حل هذه المسئلة ان حَ = $\frac{ح ط (١ + ك صَ)}{(طَ - هَ)(١ + ك ص)}$ كما في قوانين التمدد

فاذا كان حَ الذي هو حجم الغاز الرطب معلوما تعين بواسطة هذه المعادلة ح الذي هو حجم الغاز الجاف

المسئلة الثالثة

اذا كان ح حجم ممزوج مكون من غاز ومن بخار وص طقسه وط الضغط الواقع عليه فما يكون حَ الذي هو حجم الممزوج اذا صار الطقس صَ والضغط طَ بفرض ان الممزوج مشبع في كلا الحالتين

فالجواب

فالجواب ان يقال اذا رمز بالحرف ه لقوة انتشار البخار المقابلة للطقس ص وبالحرف
ه' لقوة انتشاره المقابلة للطقس ص' تؤول المسئلة الى تعيين الحجم ح' من الغاز الجاف
عند ما يصير الطقس ص' والضغط ط - ه' بعد معرفة حجمه ح في الطقس ص وتحت
الضغط ط - ه وحينئذ يحدث

$$ح' = \frac{ح (ط - ه)(1 + ك ص')}{(ط - ه')(1 + ك ص)}$$

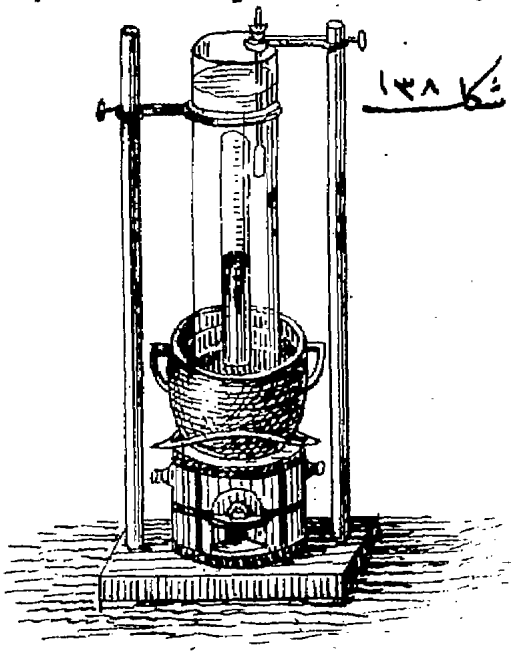
ثم ان المسئلتين الاوليين يمكن اعتبارهما حالتين مخصوصتين من الثالثة

في كثافات الابخرة

٢١١ لا يمكن ايجاد كثافات الابخرة بالطريقة المستعملة لايجاد كثافات الغازات لان
الابخرة يمتاع جزؤها بتماسه بجدران القارورة وحينئذ لا ينتج من الوزن ثقل البخار
وحده بل ثقل البخار وثقل المائع معا ويتوصل الى هذه الكثافات بطريقتين آخرين بسهلتين
احداهما طريقة المعلم غايلوساك والاخرى طريقة المعلم دوماس ولنذكرهما فنقول

الكلام على طريقة المعلم غايلوساك

٢١٢ هيئة الكيفية التي عين بها المعلم غايلوساك كثافة البخار هي ان يؤخذ ناقوس من زجاج
ارتفاعه ٣٠ او ٤٠ سنتيمترا وسعته ليتر واحد تقريبا كما في الشكل ويملأ اولا بالزيبق


شكل ١٣٨

النقي ثم يقلب (كما يفعل ذلك بالبارومتر)
في قدر من الحديد الزهر محتو ايضا على زيبق
وهذا القدر موضوع على فرن ثم يدخل في الجزء
العلوي من الناقوس ثقل معين من المائع الذي
يراد ايجاد كثافة بخاره ولذلك تستعمل قارورة
صغيرة من الزجاج جدرانها رقيقة جدا وبها
انبوبة مستدقة فتملأ القارورة بالمائع

كما يملأ الترمومتر ثم تسد الانبوبة الصغيرة بواسطة البورى وتوزن فتدل زيادة الثقل عن ثقل القارورة وهى فارغة على ثقل المائع الذى فيها حينئذ تدخل تحت الناقوس

ولاجل اخراج المائع من القارورة وتصييره بخارا يحاط الناقوس بجمد من زجاج يملأ بالماء اذا كان المائع المعد للتجربة يغلى فى طقس أقل من ١٠٠° أو بزيت ثابت اذا كان يغلى فى طقس اكثر من ١٠٠° ثم يحمى الفرن فيسخن الزيبق والمائع الذى فى الجمد وتنكسر القارورة من تمدد المائع الذى فيها فوقتئذ يخرج المائع ويتبخر ويخفض تسوية الزيبق ويجب ان يسخن المائع الذى فى الجمد الى طقس يساوى بالأقل طقس غليان المائع الذى فى القارورة ويمكن معرفة الحجم الذى شغله البخار بسهولة لأن الناقوس مقسوم الى اجزاء متساوية السعة ولانه يمكن معرفة الضغط الواقع عليه بالسهولة ايضا وقد استعمل المعلم غايلوساك لمعرفته مسطرة مدرجة منتهية بسن حاد يمكن تحريكها فى مسطرة اخرى مستعرضة فتوضع المسطرة المستعرضة على حواف القدر وتنزل المسطرة الى ان يصير سنها فى سطح الزيبق ثم يحرك على طول المسطرة قرص صغير مثقوب من مركزه بثقب صغير جدا ويجعل الثقب فى تسوية الزيبق الذى فى الناقوس فيدل البعد الكائن بين مركز القرص وبين السن على ارتفاع الزيبق فوق التسوية ويمكن ان يطرح هذا الارتفاع من ارتفاع البارومتر وقت التجربة لمعرفة مقدار ضغط البخار ويجب ان يحول ارتفاع الزيبق الذى فى الناقوس والارتفاع البارومترى الى درجة الصفر كما فى جميع التجاريب فاذا وجد ان ضغط البخار مساو لضغط الجو أو يكاد أن يساويه يستدل بذلك على أن المائع لم يتبخر بتمامه وحينئذ يلزم ان تعاد التجربة بأن يؤخذ مقدار قليل من المائع فيعلم بهذه الطريقة حجم البخار الذى يتكون من المائع الذى ثقله معين أى يعلم ثقل حجم من البخار طقسه والضغط الواقع عليه معلومان فاذا قسم هذا الثقل على ثقل حجم مثله من الهواء متحد معه فى الطقس والضغط تحصلت كثافة البخار بالنسبة لكثافة الهواء

وايضاح ذلك ان يفرض ان ثقل البخار بالجرام هو ح وان ارتفاع الزيبق فى الناقوس فيكون ضغط البخار مساويا لضغط الجو فيلزم ايجاد ثقل حجم من الهواء قدره ح وطقسه ص والضغط الواقع

الواقع عليه ط ـ طَ وبيان ذلك انه يقال حيث ان الليتر الواحد من الهوآء يزن ٢٫١ جرام اذا كان طقسه فى درجة الصفر وكان الضغط الواقع عليه ٧٦٫٠ من متر فالحجم الذى قدره ح يكون ثقله ح × ٢٫١ جرام (باتحاد الطقس والضغط) ولمعرفة ثقل حجم مثله من الهوآء الذى طقسه ص يُرمز بالحرف ك لكون تمدد الهوآء فيزداد الحجم من درجة الصفر الى درجة ص بهذه النسبة ١ : ١ + ك ص وبتغير ثقل هذا الحجم بالنسبة العكسية التى هى ١ + ك ص : ١ فحينئذٍ يكون ثقل حجم الهوآء المرموز له بالحرف ح فى الطقس ص وتحت الضغط ٧٦٫٠ من متر هو الحد الرابع من هذه المتناسبة

١ + ك ص : ١ :: ٢٫١ جرام × ح : س فحينئذٍ

$$س = \frac{٢٫١ \text{ جرام} \times ح}{١ + ك ص}$$

وحيث ان ثقل الحجم الواحد من الهوآء مناسب للضغط يحول الثقل الذى علم تحت الضغط ٧٦٫٠ من متر الى ما يؤول اليه تحت الضغط ط ـ طَ بواسطة هذه المتناسبة

$$٧٦٫٠ \text{ من متر} : ط - طَ :: \frac{٢٫١ \text{ جرام} \times ح}{١ + ك ص} : قَ$$

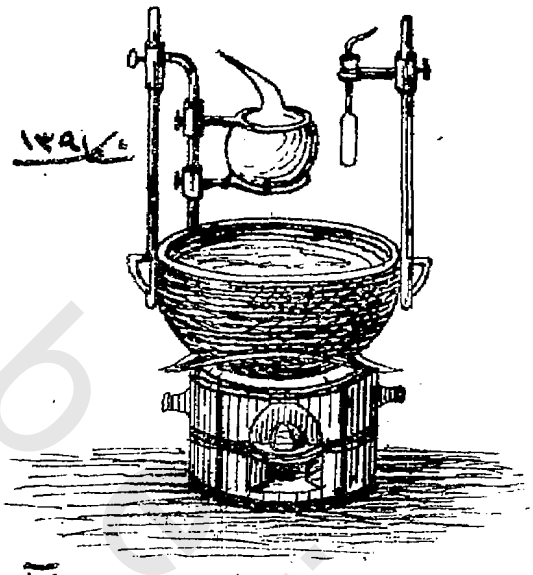
$$\text{فحينئذٍ } قَ = \frac{٢٫١ \times ح (ط - طَ)}{٧٦٫٠ (١ + ك ص)}$$

وحرف قَ رمز لثقل حجم من الهوآء قدره ح وتحت الضغط ط ـ طَ وفى الطقس ص وبهذه الكيفية تكون الكثافة المطلوبة هكذا

$$\frac{قَ}{ق} = \frac{قَ (١ + ك ص) ٧٦٫٠ \text{ من متر}}{٢٫١ \text{ جرام} \times ح (ط - طَ)}$$

الكلام على طريقة المعلم دوماس

بند ١٢٤ لما كانت طريقة المعلم غايلوساك غير كافية لتعيين كثافات اجزة الموائع التى درجة غليانها اكثر من ١٠٠° أو ١٥٠° بحث المعلم دوماس عن طريقة توافق جميع الاجسام التى درجة غليانها اقل من الدرجة التى يلين بها الزجاج فاستعمل قارورة من زجاج منتهية بعنق مستدق كما فى الشكل ١٣٩ وادخل فيها المائع او الجامد المراد تكوين البخار منه بكمية اكثر مما يكفى



شكل ١٢٩

لأجل ان تمتلئ سعتها بالبخار ثم غمسها فى حمام من الماء أو من الزيت أو من الزئبق أو مخلوط قابل للذوبان على حسب الطقس الكافى للجسم المعد للتجربة فاذا سخن الحمام على الجسم الكائن فى القارورة وتكون منه بخار يتصرف من الانبوبة الشعرية ويستمر كذلك الى ان تنعدم الزيادة الباقية من الجسم فى القارورة فاذا انقطع تصرف البخار يسد عنق القارورة بواسطة البورى ويلاحظ طقس الحمام وضغط الهواء ثم توزن القارورة ويطرح وزنها فارغة من وزنها ممتلئة بالبخار ليعلم وزن البخار الذى فيها ثم تتمم العملية كما فى طريقة المعلم غاى لوساك

جدول كثافات بعض الابخرة	
اسماء الاجسام	الكثافات
بخار الماء	٠٫٦٢٣
بخار الالكول	١٫٦١٤
بخار ايتير كبريتيك	٢٫٥٨٦
بخار الزيبق	٦٫٩٧٦
بخار اليود	٨٫٧١٦

ونشاهد من هذا الجدول ان العدد ٠٫٦٢٣ الدال على الثقل الخاص لبخار الماء يقرب من هذا الكسر $\frac{5}{8}$ فلذا يستعمل هذا الكسر الأخير فى الحسابات لبساطته

فى الارتباط الكائن بين حجم البخار وحجم الماء

قد يسهل ايجاد النسبة بين حجم الماء والجسم الذى يشغله بخارا فى طقس وضغط معينين ولنفرض أن المراد ايجاد النسبة المذكورة حين يكون طقس البخار ١٠٠° والضغط الواقع عليه ٧٦٠ ميلليمترا فنقول حيث ان الليتر الواحد من الهواء الجاف يزن ١٫٢٩٥ من جرام عندما يكون الطقس ٠° والضغط ٧٦٠ ميلليمترا فمقدار ثقل الليتر الواحد من البخار فى الطقس والضغط المذكورين يكون

يكون $\frac{5}{100}$ هذا الكسر ٠٫٠٥ من جرام أي ٠٫٠٥٩ من جرام ومن المعلوم ان الليتر الواحد يساوى ١٠٠٠ سنتيمتر مكعب فيكون مقدار الحجم الذى يشغله الجرام الواحد من البخار هكذا $\frac{1000}{0.059}$ أو ١٦٩٥ سنتيمترًا مكعبًا وهذا الحجم يقرب من ١٧٠٠ أي أن الجرام الواحد من الماء الذى في غاية كثافته اذا اجل بخارًا في طقس ١٠٠° وتحت ضغط ٧٦٠ ميليمترًا يشغل حجمًا اكبر من حجمه الأصلي الفا وسبعماية مرة تقريبًا

في انماع الابخرة والغازات

في انماع الابخرة

٢١٥ يحد انماع البخار أو تكاثفه هو استحالته من الغازية الى السيولة والتكاثف المذكور ثلاثة اسباب وهي التبريد والضغط والميل الكيماوي فأما السببان الاولان فانهما يستلزمان كون البخار في حالة التشبع وأما الثالث فيميع البخار ولو كان متخلخلًا جدًا ولذا يشاهد ان كثيرًا من الابلاح يتشرب بخار الماء الذى في الجو قل او كثر

والبخار الذى يتبرد في الجو تصدر عنه حادثة مخصوصة هي انه لا يستحيل الى السيولة دفعة بل يتحول الى فقاقيع مجوفة صغيرة جدًا كفقاقيع الصابون ويقال حينئذ ان البخار استحال الى فقاقيع وهذه الحالة هي التي تتكون فيها السحب من بخار الماء ويشاهد فيها ذلك البخار مدة الغليان

ثم ان البخار عند تكاثفه يترك حرارته الكامنة فتصير مدركة بالترمومتر ولتحقيق ذلك يوصل تيار من البخار طقسه ١٠٠° الى ما عون فيه مقدار من الماء في الطقس المعتاد فيسخن الماء بسرعة ويصير طقسه ١٠٠° وقد سلم في ان كمية الحرارة التي يتركها البخار عند تكاثفه تساوى كمية الحرارة التي كان تشربها عند تكونه

الكلام على كيفية التسخين بالبخار

٢١٦ يحد قد علم مما سبق ان حرارة البخار الكامنة تظهر عند تكاثفه ولذا يستعمل البخار لتدفئة الحمامات والمعامل والمجامع ومدافئ النباتات والحمامات البخارية وكيفية ذلك ان يكون البخار في دسوت كدسوت الالات البخارية ثم يمرر في انابيب موضوعة في المحل المراد تدفئته فيتكاثف البخار في

هذه الانابيب ويوزع حرارتها الكامنة عليها فتنتشر الحرارة المذكورة الى الهواء الخارج والى المائع الموضوعة فيه انابيب التوصيل

في انمياع الغازات

بند ٢١٧ حيث كانت الغازات ابخرة متمددة جدًا فهي مثلها قابلة للانمياع غير ان حد انمياعها بعيد جدًا عن حد انمياع الابخرة ولا يمكن انمياعها الا بضغط يختلف شدة وضعفًا أو بتبريد كذلك فمنها ما ينماع بالضغط وحده أو بالتبريد وحده ومنها (وهو الاغلب) ما ينماع بالضغط والتبريد معًا ومنها (وهو قليل) ما لا ينماع بهما كالاوكسيجين والايدروجين والازوت والغازات التي بهذه المثابة تعتبر غير قابلة للانمياع بالطرق المعلومة ويمكن انمياعها اذا امكن تبريدها تبريدًا كافيًا وضغطت ضغطًا شديدًا

ثم ان بقية ما يتعلق بانمياع الغازات مشروح في بند ٤٩ من الجزء الاول من هذا الكتاب

الدرس التاسع والثلاثون

في الالات البخارية

بند ٢١٨ الالات البخارية الجمزة بواسطتها تصير مرونة بخار الماء قوة محركة. في الالات المستعملة عمومًا يوصل البخار للمكبس (بسبب مرونته) حركة مستقيمة مترددة تكيف بعد ذلك بحركة مستديرة مستمرة بواسطة اعضاء مختلفة معدة لذلك

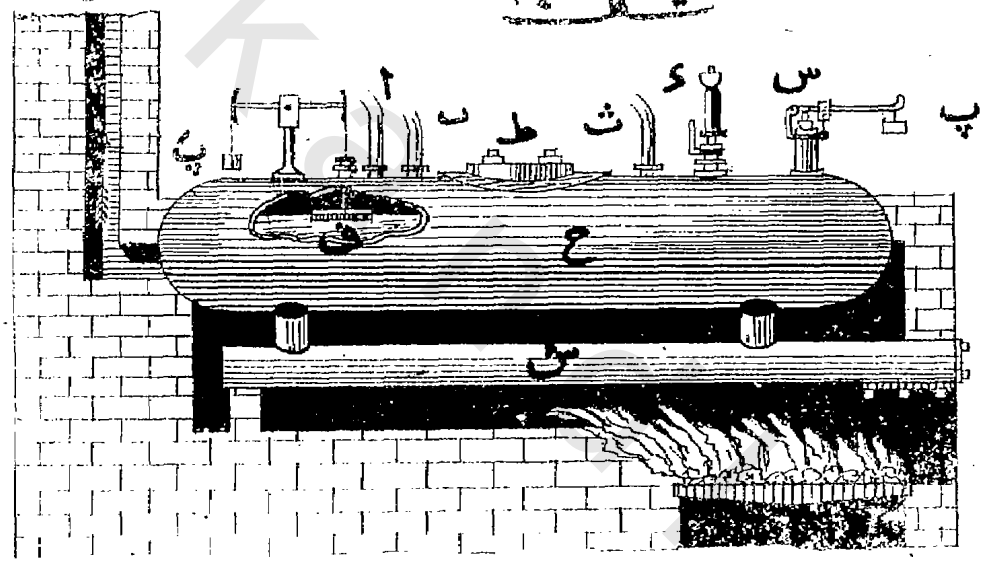
وكل جهاز بخاري يتركب من جزئين ممتازين عن بعضهما وهما القدر الذي يتكون فيه البخار والآلة نفسها ولنبتدأ بشرح القدر فنقول

الكلام على القدر

بند ٢١٩ القدر آنا يستعمل لتولد البخار والمرسوم في (الشكل ١٤٠) صورة القدر المستعمل بكثرة في الالات الثوابت (واما قدر عجلات البخار فشكله يختلف كثيرًا عما نحن بصدده)

وهو مكون من اسطوانة طويلة من الصلج ينتهي كل من طرفيها بنصف كرة وتحته اسطوانتان قطر كل منهما اقل من قطر الاسطوانة الاولى بكثير وهما ايضاً من الصلج ويستطرقان للقدر بأنبوبتين وهاتان الاسطوانتان (اللتان احداهما ظاهرة في الرسم) تسميان بالغلايات وهما معدتان لتلقي مصادمة نار الفرن ويلزم ان تمتلئا بالماء امتلاءً كلياً واما القدر فلا يلزم ان يزيد الماء عن نصفه الاقليلاً وتحت الغلايات البورة اى التنور الذى تحرق فيه الفحم او الحطب او نحوهما وله مدخنة ينصرف فيها الدخان الى الجو بعد ان يمر حوالى الغلايات والقدر والعادة ان تجعل المدخنة طويلة جداً لتزداد سرعة تيار الهواء

شكل ١٤٠



بيان الاجزاء المرسومة في (الشكل ١٤٠)

الجزء ا انبوبة معدة لتوصيل البخار الى العلبة المعدة لتوزيعه كما في الآلة المرسومة في (الشكل ١٩١)

والجزء ت انبوبة معدة لتوصيل البخار للمانومتر الذي يبين قوة مقدار الضغط الواقع من البخار على باطن القدر

والجزء ث انبوبة معدة لادخال الماء في القدر

والجزء ء صمامات الاحتراس وسميت بذلك لانها تستعمل للاحتراس في حالة ما يكون

الماء الذى فى القدر غير كاف له وهذه الحالة يمكن ان يصير بخارا القدر عند دخول الماء فيه لان جدرانه المحموة من شدة الحرارة تولد مقدارا عظيما من البخار بمجرد دخول الماء فيه وما دامت تسوية الماء ليست منخفضة جدا فى القدر لا يدخل البخار فى الصفارة اما اذا انخفضت التسوية عن الارتفاع اللازم انخفض العوام الصغير (الذى ليس ظاهرا فى الرسم) الساد لقاعدة الصفارة وحينئذ يدخل البخار فيها وعند تصرفه يصادم حوافى ثقب معد لذلك فيتولد صوت حاد كالصوت الذى يسمع على طرف الحديد

والجزء ف عوام معد للدلالة على تسوية الماء فى القدر وهو مكون من حجر مستطيل جزء منه مغمور فى الماء كما يظهر ذلك من التقوير المعمول فى جدران القدر وهذا الحجر المعلق فى احد طرفى رافعة محفوظ فى حالة الموازنة بخفته فى الماء وبمضادة الثقل له فما دام الماء يرتفع الارتفاع المطلوب تبقى الرافعة الحافظة للعوام افقية وتنخفض جهة ف اذا كان الماء قليلا عن المقدار اللازم وتنخفض نحو الجهة الاخرى اذا كان الماء كثيرا وفى كلا الحالتين يعرف الوقاد المقدار من الماء اللائق ادخاله فى القدر

والجزء ح قدر اسطوانى من الصلج مسدود بالكلية

والجزء ى غلاية تامة مثل صفحات

والجزء و المدخنة أى المجرى الذى يوصل الدخان الى الجو

والجزء پ ثقل موضوع فوق صمام الأمن

والجزء پَ ثقل مضاد لثقل العوام

والجزء ں صمام الأمن

والجزء ط مدخل وهو فرجة يدخل منها لتنظيف القدر واصلاح ما فيه

الكلام على الالة المضاعفة التأثير

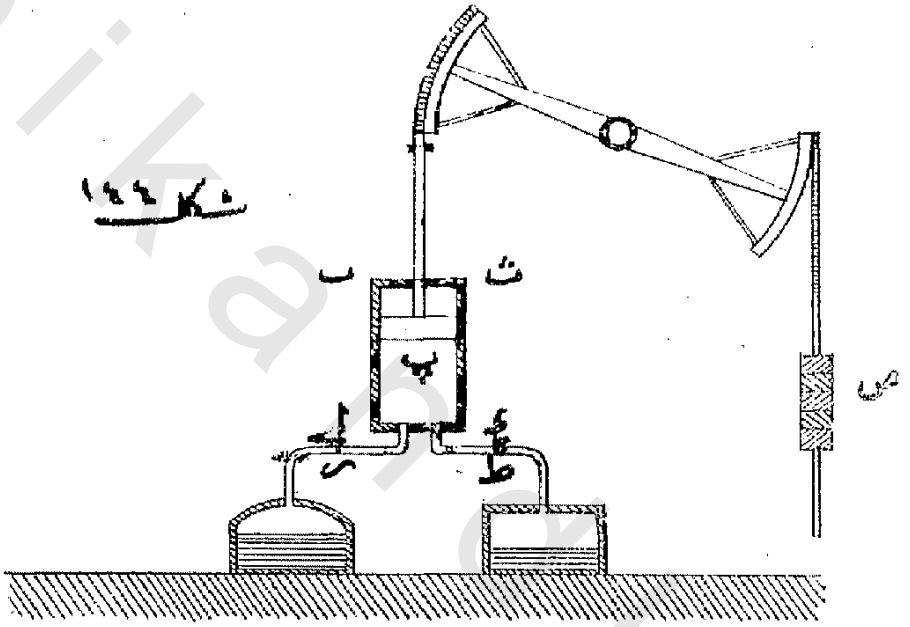
يريد الآلة المضاعفة التأثير الة يؤثر فيها البخار بالمعاقبة فوق المكبس وتحته وتعرف

أيضا بالة المعلم ذات

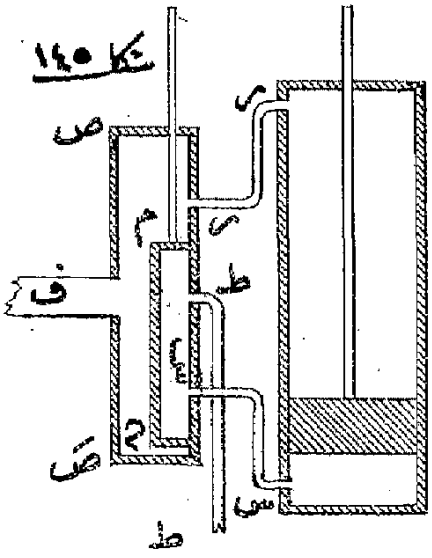
ولنتكلم عليها كلاما اجماليا ثم نشرح كل قطعة منها فنقول صورة هذه الآلة مرسومة في (الشكل ١٤)
واول جزء منها من جهة اليسار هو اسطوانة من الحديد الزهر يأتي لها البخار من القدر والتصوير
المصنوع في جدران هذه الاسطوانة مجعول لمشاهدة المكبس الذي يدافعه البخار على التعاقب
من اعلا ومن اسفل ليخفضه ويرفعه وهذا المكبس يوصل حركته المتعاقبة بواسطة ساقه ا
لرافعة عظيمة من الحديد الزهر رمزها ل تسمى بالنسبة محمولة على أربعة أعمدة من الحديد
الزهر وهذه البلنسية توصل حركتها الى قطعة طويلة من الحديد الزهر رمزها ے تسمى
بالذراع تتصل بالركبة ک وتحركها حركة مستديرة مترسلة وهذه الركبة مثبتة في سهم
افقي من الحديد الزهر يسمى محور الطيارة يدور معها وهذا المحور يوصل الحركة بواسطة بجلة معرجة
الى الات مختلفة كالمنشار والمنقاب والمخرطة وغير ذلك من الالات المراد تحريكها
وعلى يسار الاسطوانة علبة لتوزيع البخار (وكيفية توزيعه مشروحة فيما بعد ١٧١)
وحيث أن البخار يمر على التعاقب فوق المكبس وتحته فالواجب تصريفه بعد تأثيره في
كل من وجهي المكبس اذ بدون ذلك يصير المكبس مضغوطا من الجهتين بضغطين متساويين
فيتزن والتصريف البخار بعد مدافعته للمكبس يمر في اسطوانة و تحتوي على ماء بارد
تسمى بالمكثفة فيتكاثف فيها وبهذا يتكون فراغ في جزء الاسطوانة المستطرق بالمكثفة وحينئذ
لا يوجد ضغط الا على أحد وجهي المكبس فيرتفع او ينخفض
واستعمال المكثفة مؤسس على قاعدة من قواعد نظرى الابخرة تنسب للعلم ذات مضمونها
أنا الأقماع المستطرقين لبعضهما والمحتوين على بخار في حالة التشبع اذا كانتا مختلفتي الطقس
كانت قوة انتشار البخار فيهما واحدة ومقابلة لطقس الماعون الاقل حموا
وحيث أنما المكثفة يسخن بسرعة بسبب ابتياع الابخرة فالواجب تجديده على الدوام
ويحصل ذلك بواسطة طلومبتين احداهما ق م تسمى طلومبة الهواء تأخذ الهواء والماء

وآلة الساخن الذى فى المكثفة والاخرى ش ر تسمى طلومبة الثرع لكونها تنزع أى تاخذ
من بئر أو نهر ما يلزم وترسله الى المكثفة بواسطة الضغط الجوى
وهنا الطلومبة ثالثة ع ك تسمى طلومبة التطعيم توصل للمقدر آلة الساخن المتصرف
من المكثفة وبهذا يحصل وفر فى الوقود

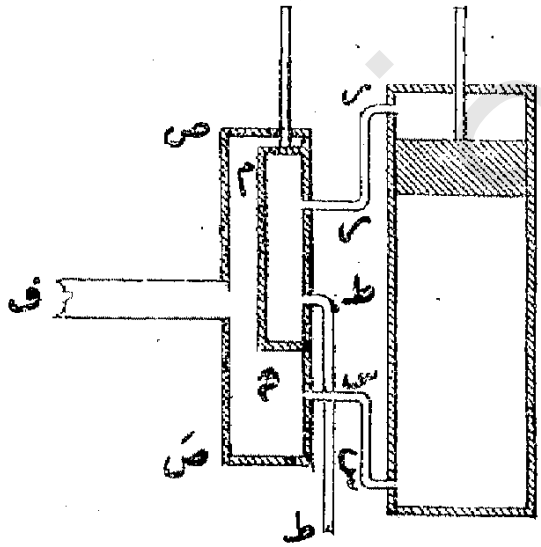
شكل ١٤٤



شكل ١٤٥



شكل ١٤٦



بيان الاجزاء المرسومة في الشكل (١٤١)

فالجزء ا ساق المكبس وهو معشق في متوازي الاضلاع ويستعمل لتوصيل حركة المكبس المتزددة للرافعة

والجزء ب ساق مثبت في الاسطوانة يحفظ ذراع المنبه ث

والجزء ث ذراع المنبه الذي يوجه حركة متوازي الاضلاع

والاجزاء ر ر ه اشرطة من حديد يتكون منها مع طرف الرافعة متوازي أضلاع معشق فيه

ساق المكبس وفائدته حفظ حركة الساق المستقيمة مدة تحركه

والجزء ف ساق طلومبة الهواء التي ترفع الهواء مع الماء الساخن اللذين في المكثفة

والجزء ع ساق طلومبة التطعيم التي توصل للقدر الماء الساخن المستخرج من المكثفة

والجزء ش ساق طلومبة النزح التي تستعمل لاخراج الماء البارد اللازم للتكاثف

والجزء ے ذراع يوصل للركبة حركة الرافعة

والجزء ك ركبة توصل حركة الذراع لمحور الطيارة

والجزء ل رافعة تتحرك حول محور في وسطها يسمى اصبعا وهي التي توصل حركة المكبس للذراع

والجزء م اسطوانة طلومبة الهواء وهي مستطرقة للمكثفة و

والجزء ح مستودع يأتي له الماء الساخن المستخرج من المكثفة بواسطة طلومبة الهواء

والجزء و مكثفة ممتلئة بالماء البارد الذي يضاع فيه البخار بعد مدافعته للمكبس

والجزء پ مكبس معدني يتحرك في اسطوانة من الحديد الزهر وهذا المكبس هو الذي يتلقى ضغط البخار مباشرة ويوصل الحركة لجميع قطع الآلة

والجزء ك مستودع هوائي للطلومبة الكابسة المعدة لتطعيم القدر التي ترسل الماء للقدر

والجزء ر مستودع الماء البارد لطلومبة النزح

والجزء س انبوبة توصل للقدر الماء الساخن المدفوع بطلومبة التطعيم

والجزء ط انبوبة توصل للمكثفة الماء البارد المستخرج بطلومبة النزح

والجزء و أنبوبة توصل البخار من الاسطوانة الى المكثفة بعد مدافعته للمكبس

والجزء ز طارة كبيرة من الحديد الزهر تسمى طيارة تدور مع محور الطيارة فائدتها تنظيم الحركة بسبب تصورها الذاتي فيما عند ما يصل المكبس الى اعلا مجراه واسفله

والجزء ى رافعة ذات مرفق توصل حركة الايكسنتريك هـ للصمام ك

والجزء ح ذراع الايكسنتريك

والجزء ا فتحة تستطرق تارة بالجزء العلوى من الاسطوانة وتارة بالجزء السفلى منها فائدتها توصيل البخار الى المكثفة بواسطة الانبوبة و

والجزء ك ساق يوصل الحركة للصمام الذى يستعمل لادخال البخار تارة من فوق المكبس وتارة من تحته وسيأتى الكلام عليه فى (بند ١٧١)

والجزء ث فتحة يدخل منها البخار الآتى من القدر الى علبة التوزيع

والجزء ذ علبة مغشاة من داخلها بعشاق ينزلق فيها ساق المكبس ولا يتصرف منها شئ من البخار

والجزء هـ ايكسنتريك مثبت فى محور الطيارة يدور فى طوق يرتبط به الذراع ح

والجزء م ذراع يربط ساق الصمام بالرافعة ذات المرفق ى وبالايكسنتريك

الكلام على كيفية توزيع البخار وعلى الايكسنتريك

بند ١٧١ (الشكل ١٤٧) يبين كيفية توزيع البخار وذلك ان البخار يأتى من القدر الى الانبوبة ث ومنها الى علبة مستطيلة من الحديد الزهر مثبتة فى الاسطوانة وفى سمك جدرات هذه الاسطوانة ثلاث فتحات ز ح ا الاولى تستطرق بالجزء العلوى من الاسطوانة بواسطة قناة داخلية والثانية تستطرق بالجزء السفلى منها والثالثة تتصل بالمنفذ ر الموصل للمكثفة وينزلق على هذه الفتحات الثلاث جزء معدنى ت يسمى بالصمام المنزلق وهو مثبت فى ساق المعشق فى م ساق اكبر منه رمزه ذ يحركه حركة مترددة نالجة من الرافعة ذات المرفق ى ق س وهذه الحركة ناشئة من الايكسنتريك

فتى

فتى كان الصمام فى اعلا مجراه كما فى الرسم دخل البخار من الفتحة ح وصار فى الجزء الاسفل من الاسطوانة وأما الفتحة و فانها تصير مسدودة بالصمام ولا يدخل منها البخار واما البخار الذى فوق المكبس فانه يرجع من الفتحة و المذكورة ومن الفتحة أ الى المنفذ ر ويمر منه الى المكثفة وحينئذ لا يكون المكبس مضغوطا الا من اسفل الى اعلى فيرتفع

واما اذا كان الصمام فى اسفل مجراه فلا يدخل البخار الا من الفتحة و ويرجع البخار الكائن تحت المكبس الى المكثفة من الفتحة ح فحينئذ ينزل المكبس وهكذا يحصل كلما تحرك الصمام بالارتفاع والانخفاض

واما حركة تردد الصمام فانها ناتجة من الايكسنتريك وهو قطعة مستديرة م مثبتة فى محور الطيارة ا لكن مركزها ليس مركزه والايكسنتريك المذكور محاط بطوق معدنى ث يدور فيه الايكسنتريك باحتكاك خفيف ويثبت فى هذا الطوق اشرطة ح ح معشقة بذراع الايكسنتريك والطوق يتحرك بتحرك الايكسنتريك بدون ان يدور معه تحركا افقيا مترددا متصلا بالرافعة س وهى ا الواصلة للصمام المنزلق

الكلام على الآلة البسيطة التأثير

يسمى الالة البسيطة التأثير لانه يضغط البخار فيها الا الوجه العلوى من المكبس وفيها جزء مضاد للثقل مثبت فى الطرف الآخر من الرافعة يرفع المكبس بعد نزوله وهذه الالة التى تستعمالها الآن كانت مستعملة لتحريك الطلومبات لنزح الماء من المعادن وتختار فى هذه الحالة عن السابقة لبساطتها وهى الآن مستعملة فى بعض اقاليم انجلترا

والموسوم فى الشكل (١٤٣) قطع آلة بسيطة التأثير رافعتها ب ب من الخشب وفى طرفها قوسا دائرة تلتصق عليهما سلسلتان احداهما مثبتة فى ساق المكبس پ الذى يضغط عليه البخار والاخرى مثبتة فى ساق طلومبة النزح وعلى يمين الاسطوانة ا علبة التوزيع ث التى يأتى لها البخار من القدر بواسطة الانبوبة ط وهناك ساق ر به ثلاث صمامات

م ، ح ، و الاول والثالث ينفتحان من اسفل الى اعلى والثانى ح ينفتح من اعلى الى اسفل فمتى كان الصمامات م ، و مفتوحين كما يظهر ذلك من الشكل وصل بخار القدر بواسطة الانبوبة ط الى الاسطوانة وضغط على المكبس پ واما البخار الكائن تحته فانه يرجع الى المكثفة ح بواسطة الانبوبة م وحينئذ ينخفض المكبس وحيث ان الساق ذا الصمامات م ، ح ، و مرتبط برافعة ذات مرفق ؤ ث ك متحركة على عقب ث تنفتح الصمامات وتنغلق بسببها وذلك ان الذراع ف المثبت فى الرافعة ذو انشعاخين أ ، ت بواسطتها يصادم الطرف ك من الرافعة ذات المرفق ويقتضى وضع الصمامات المبينة فى الشكل (١٤٣) ينخفض المكبس وتنخفض معه الذراع ف وحينئذ يصدم الانشعاخ ت الرافعة ويخفضها مع الساق ؤ م و فعند ذلك ينغلق الصمامان م ، و وينفتح الصمام ح فحينئذ يمتنع الاتصال بالقدر وبالمكثفة وحيث ان البخار الذى خفض المكبس يمر من تحته بواسطة القناة ث ويضغط وجهى المكبس بالسوية يتزن غير ان الثقل ك يرفعه (وهذا لا يحتاج الا الى قوة قليلة لان طلومية النزح لا تحتاج لقوة الا لرفع مكبسها) وعند ما يصل المكبس پ الى اعلى مجراه يصدم الانشعاخ أ الرافعة ك فترتفع الساق ؤ ح و ويصل البخار ثانيا الى المكبس فينخفض وهكذا

الكلام على الآلة الجوية

٤٦٢ الآلة الجوية تشبه الآلة البسيطة التأثير وهى معدة ايضا لنزح المعادن والاجزاء الأصلية التى تتركب منها هذه الآلة اسطوانة ا ب ث ء كما فى (شكل ١٤٤) يتصل جزؤها الأسفل بانبوبتين لكل واحدة منهما حنفية الاولى ر تتصل بالقدر الذى يتكون فيه البخار والثانية ط تتصل بما عون لاهواء فيه ونصفه ممتلئ بالماء البارد وفى الاسطوانة مكبس مصمت پ ساقه مثبت فى سلسلة تلتصق على رافعة مقوسة والمكبس وساقه متوازنان بمضادة الثقل ص التى يزيد ثقلها عن مجموع ثقليهما بقليل فاذا وصل المكبس الى اسفل

مجراه

باخراج الهواء الذى تحته من فتحة و فتحت الحنفية ر دخل البخار تحت المكبس فان كان ثقله ... عادل الضغط الجوى الواقع فى قاعدته الخ يا فترفع بزيادة الثقل الى اعلا مجراه فعند ذلك تغلق الحنفية ر وتفتح الحنفية ط فيستطرق البخار الذى فى الاسطوانة الى الماء البارد ويتكاثف الى ان تصير قوة انتشاره مساوية لنهاية قوة الانتشار المقابلة لطقس الماء وبزوال الضغط من تحت المكبس ينخفض بالضغط الجوى (ولذلك سميت بالآلة الجوية) ويمكن ان يرفع معه ثقلا مساويا للثقل الذى يضغطه من اعلى الى اسفل اعنى ثقلا يساوى ثقل عمود من الماء قاعدته تساوى قاعدة المكبس وارتفاعه نحو عشرة امتار ثم اذا وصل المكبس الى اسفل مجراه وفتحت الحنفية ر دخل البخار ايضا تحته ورفعه وهكذا

تنبيه

اعلم ان الاسطوانة فى الآلة المصاعنة التأثير ملبسة بغلاف ذى فتحة مغشاة من داخلها بثقب يتزلق فيها ساق المكبس مع الاحتكاك والغلاف المذكور يمكن ان يستطرق لعلبة توزيع البخار (بالانبوبة ر ر أو بالانبوبة س س) التى يأتى لها البخار من القدر بواسطة الانبوبة ف كما فى الشكل (١٤٥ و ١٤٦) ويمكن ان يتزلق فى العلبة المذكورة صمام رمزه م ح مع اتكائه دائما على الوجه المتصل بالانبوبتين ر ر و س س الواصلتين الى الاسطوانة وبانبوبة ثالثة ط مستطرقة للجو أو للكثفة فاذا انخفض الصمام م ح كما فى الشكل (١٤٥) مر البخار الكائن فى العلبة ص ص من الانبوبة ر ر ودخل فى الجزء العلوى من الاسطوانة وضغط المكبس من اعلى الى اسفل فينخفض ولا شئ يقاوم حركته لان البخار الكائن تحته يستطرق حينئذ للجو أو للمكثفة فيفقد قوته واذا ارتفع الصمام كما فى الشكل (١٤٦) مر البخار اسفل المكبس من الانبوبة س س وضغطه من اسفل الى اعلى فيرتفع لان البخار الكائن فوقه يستطرق حينئذ للجو أو للمكثفة فلا يقاوم حركته اى لا يعطلها فحينئذ اذا توالى ارتفاع الصمام وانخفاضه توالى ارتفاع المكبس وانخفاضه

الكلام على الالة المسماة بوليبيل اى لبارم البخاري

٢٦٤ هي كرة معدنية مجوفة يمكن ان تتحرك بلا عائق حول اصبعين كما في الشكل (١٤٧) ويثبت في طرفي احد اقطارها انبوبتان منعطفتان اتجاه انعطاف احداهما مضاد لاتجاه انعطاف الاخرى وفي نهاية كل من الانعطافين ثقب يتصرف منه البخار فيؤثر البخار في الآلة ويحركها كما يتحرك البارم الايدروليكي من الماء ولاجل ادخال الماء في هذه الكرة تسخن اولا ليتخلخل الهواء الذي فيها ثم تغمس في الماء البارد فينقبض الهواء ويدخل الماء في الكرة فاذا سخنت الى ان يغلي الماء الذي فيها حدث من البخار الذي يتصرف منها حركة سريعة مستديرة ناتجة من ضغط البخار على الجدارين المقابلين للمنفذين وهذه الآلة اخترعت في الكندرية قبل الميلاد بنحو مائة وعشرين سنة والذي اخترعها هو هيرون مخترع الناقورة المشهورة باسمه

الكلام على الالات ذات الضغط المنخفض

وعلى الالات ذات الضغط المرتفع وعلى الالات

ذات الضغط المتوسط

٢٦٥ اذا لم تتجاوز قوة انتشار البخار جوا ورطلا يقال للالة ذات ضغط منخفض فاذا كانت قوة الانتشار محصورة بين جو وربع وبين اربعة اجوية يقال لها ذات ضغط متوسط فاذا جاوزت قوة الانتشار اربعة اجوبة قيل لها ذات ضغط مرتفع

الكلام على الالات ذات المد وعلى الالات غير ذات المد

٢٦٦ اذا استطرقت الاسطوانة التي في الآلة المضاعفة التأثير بالمقدر مدة طلوع المكبس او نزوله بتمامها كانت القوة التي ترفعه او تخفضه ثابتة مدة الرجة بتمامها وحينئذ تصير سرعته التي يكتسبها عند وصوله لطرفي الاسطوانة عظيمة جدا فينتج من ذلك صدمة قوية يعقبها اضطراب في الآلة كلها واما اذا لم يوصل البخار الى الاسطوانة الا في مدة يقطع المكبس فيها جزأ من مجراه (كالمدة التي يقطع فيها نصف مجراه مثلا) فان المكبس يقطع نصف الاسطوانة

بحركة

متنقلة بالجلاء ويقطع النصف الآخر بسرعته المكسبة او بتأثير البخار وحيث ان هذا التأثير يتناقص رويداً رويداً بسبب تمدد البخار تقل سرعة المكبس عن ما كانت وحينئذ لا يحدث صدمة عظيمة كما في الحالة الاولى وبالجملة فالآلات البخارية تنقسم الى آلات تكاثفية وهي التي لها آنا يتكاثف فيه البخار أي يتماع فيه بعد ان يدافع المكبس والى آلات غير تكاثفية وهي التي يتصرف فيها البخار للجو بعد مدافعته للمكبس وذلك كما غلب الآلات ذات الضغط المرتفع

الكلام على الحصان البخاري

٤٦٧ من المقرر في علم الميكانيكا المطبق على الصنائع ان الشغل المفيد لقوة ما هو حاصل ضرب القوة في المسافة المقطوعة بها وان وحدة الشغل الميكانيكي هو الكيلوجرامتر الذي هو الشغل اللازم لرفع الكيلوجرام مترا واحدا في ثانية واحدة وفي قياس شغل الآلات البخارية يؤخذ الحصان البخاري وحدة والمراد به هنا الشغل اللازم لرفع ٧٥ كيلوجراما مترا واحدا في ثانية واحدة أي أنه يكافئ ٧٥ كيلوجرام مترا فيشترط الآلة التي قوتها ١٠ حصانا هي التي يمكن ان ترفع على الدوام امثال ٧٥ كيلوجرام مترا ٤٠ مرة اي ٣٠٠٠ كيلوجرام مترا في ثانية واحدة والحصان البخاري حصان تجريبي شغله يقرب من ضعف شغل الحصان المعتاد

الكلام على العربات البخارية

٤٦٨ العربات البخارية الآلات بخارية محمولة على جاري العربة وتتدحرج بنفسها بتوصيل الحركة للعجلات وهذه الآلة مجردة عن المتوازي الاضلاع وعن الرافعة وعن الطيارة التي تكون في الآلات الثوابت وشكل القدر مغاير بالكلية لشكل القدر الذي يكون في الآلات البخارية المعتادة والمرسوم في الشكل ١٤٨ صورة عربة البخار التي انشأها المهندس الماهر اصطوفان الانكليزي سنة ١٨٢٩ سيحية والجزء هذه الآلة الاصلية هي علبة النار وجسم القدر الاسطواني وعلبة الدخان والبروان واسطوانتا البخار بصماميهما والعجلات المحركة واجزاء التطعيم

فأما البرواز فهو حافظ من خشب البلوط محمول على محاور العجلات وهو الحافظ لجميع اجزاء الآلة والشكل ١٤٨ فيه المهندس يكون راكبا على جزء مسطح مستوى بارز من الطرف الخلفي للبرواز استعداده

لفتح آخذ البخار ے الموضوع فى الجزء العلوى من علبة النار وفى الجزء الأسفل منها البورة اى التنور الذى يمر منه اللهب وما تكون من الاحتراق الى علبة الدخان ثم الى انبوبة المدخنة بعد ان يمر فى ١٠٥ انبوبة من النحاس مغمورة بالكلية فى ماء القدر

والذى يوصل علبة النار بعلبة الدخان هو القدر المتخذ من النحاس الاحمر وشكله اسطوانى وقطره نحو المتر وهو محاط بالواح من الخشب لحفظه من البرد فتى تكون البخار وخرج من القدر ذهب الى اسطوانتين موضوعتين بجانبى علبة الدخان وتوزع بطريقة تشبه الطريقة المتقدمة فى (بند ١٠٠) ودافع بالتعاقب ويحمى كل من المكبسين اللذين يوصلان الحركة بواسطة سابقيهما الى محور عجلتين كبيرتين ولبست علبة التوزيع ظاهرة فى الرسم لكونها موضوعة تحت البرواز بين الاسطوانتين وكل صمام من الصمامين المنزلقين يتلقى حركة مستقيمة المترددة من ايكسنتريك خاص به موضوع على محور العجلتين الكبيرتين والبخار بعد ما فعله المكبسين يتصرف فى الجو من المدخنة عوضا عن ان يرجع للمكثفة وفائدة تصريف البخار من المدخنة ازدياد سرعة تيار الهواء فيها

والذى يوصل حركة المكبسين للعجلتين الكبيرتين ذراعان يوصلان ساقى المكبسين لمحور العجلتين المذكورتين بواسطة ركبتين والتعليم اعنى تحديد المآ فى القدر يحصل بواسطة طلومبتين ماصتين كابستين موضوعتين تحت البرواز تتحركان بالايكسنتريكين وهاتان الطلومبتان تمصان المآ بواسطة انابيب الاستطراق من مستودع موضوع على عربة المدخنة وهى التالية للعربة المحركة للعربات الأخر تشحن بالماء والفحم اللذين تحتاج لقطع مسافة معينة

بيان الاجزاء المرسومة فى الشكل (١٤٨)

فالجزء ا انبوبة من النحاس الأحمر تتلقى البخار من الطرف ے وتتشعب الى شعبتين من الطرف الآخر لتوصله اى البخار للاسطوانتين المحتويتين على المكبسين المحركين

والجزء ب مقبض واقعة تغيير السير وهو يوصل الحركة للذراع ث الذى يوصلها لموزع البخار

والجزء ث ذراع تغيير السير

والجزء

والجزء ء الجزء الأسفل من علبة النار وهو محتو على مصبات التنور

والجزء ه انبوبة يتصرف منها البخار بعد ان يدافع المكبس

والجزء ف اسطوانات من الحديد الزهر كلاهما يحتوى على مكبس محرك احداهما على عين العربة والاخرى على يسارها ولاجل مشاهدة المكبس رسمت الاسطوانة مفتوحة

والجزء ج ذراع يستعمل لفتح الصمام ے لاجل ان يمر البخار في الانبوبة ه (في الشكل المهندس ماسك بيده الرافعة التي تدير هذا الذراع

والجزء ث حنفية لتفريغ القدر

والجزء ے صمام يفتح ويغلق باليد لأخذ البخار

والجزء ك ذراع كبير محرك ذو شعبتين واصل من رأس ساق المكبس الى الركبة م

(السماة في الميكانيكا بالمناولة) من العجلة الكبيرة

والجزء ل مصباح بعاكس يستعمل لتبيين اقتراب العربة بالليل

والجزء م ركبة توصل حركة المكبس لمحور العجلة الكبيرة

والجزء ن ذراع لشبك عربة الذخائر

والجزء و حامل التنور ومنه يدخل الوقاد الفحم الكوك

والجزء پ مكبس معدني يتعشق ساقه بالذراع ك

والجزء ك انبوبة المدخنة يتصرف منها الدخان والبخار الخارجان من الاسطوانات

والجزآن ر ر أنبوبتان يوصلان الماء من عربة الذخائر الى طلومبتين كابستين يطعمان القدر لكنهما غير ظاهرتين في الرسم

والجزء س مكنسة تكنس ما على الطريق من حجر أو غيره

والجزآن ط ط ذبلكان يحملان القدر

والجزآن ق ق شريطان من الحديد محفوظان على الطريق بمسامير من الحديد الزهر مثبتة بكل

من الخشب والجزء و علبة لتحكيم المكابس

والجزء أ ص ص جسم القدر الاسطوانى المغطى بالواح من الخشب لتقليل فقدان الحرارة بسبب ضعف توصيل الخشب للحرارة وتحت الانبوبة ا أنابيب من النحاس رمزها أ يمر منها ما تولد من الانقاد ويذهب الى علبة الدخان وهذه الانابيب موضوعة فى ما القدر بعضها فوق بعض واعلاها الايجاو وتسوية لما فى القدر

والجزء ـــ ك علبة الدخان تنفتح فيها جميع الانابيب أ

والجزء ذ ذ علبة النار تعلوها قبة يتكون فيها البخار

والجزء أ أنابيب من نحاس عددها ٥٠ كل واحدة منها مفتوحة الطرفين وتتصل من احد طرفيها بعلبة النار ومن طرفها الآخر بعلبة الدخان وهذه الانابيب هى التى توصل الحرارة لما القدر وتخرج

والجزء ب ب قطاع دليل موضوع بجانب علبة النار وبه تجاويف يمكن أن يعشق فيها ذراع الرافعة ب والتجويفة التى فى الطرف المقدم تنفع للسير جهة الامام والتجويفة التى فى الطرف المؤخر تنفع للسير جهة الخلف والتجويفة التى فى الوسط تنفع لايقاف العربة والتجاويف التى بين التجويفة للتوسطة وبين كل من التجويفتين المتطرفتين تنفع للسير بالمدّ جهة الامام او الخلف

والجزء هـ علب محتوية على زنبلكات تنظم حركات صامات الامن ـــ ك

والجزء ح ح صفارة التنبيه ويسمع صوتها على بعد ٢٠٠٠ متر

والجزآن ع ع لمّ يصعد عليه للوصول الى محل الجلوس فى العربة

والجزء ج ج أنبوبة من البلاود موضوعة امام المهندس بتبين تسوية ما فى القدر السطرنة على له

والجزآن ر ر زنلقان معدان لحفظ حركة رأس المكبس على الاتجاه المستقيم

والجزآن ت ت حنفيات لتنظيف الاسطوانتين بعد التشغيل

والجزء ق ق قضيب يوصل الحركة لحنفيات التنظيف

والجزء ـــ ك صامات الأمن

الدرس الاربعون

في ينابيع الحرارة والبرودة

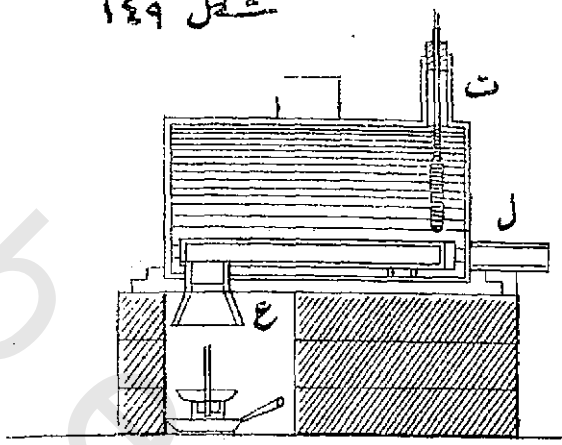
١٤٨ ينابيع الحرارة هي الشمس والحرارة الارضية واغلب الاتحادات الكيماوية والطرق والاحتكاك وضغط الغازات والطيارات الكهربائية واستحالة الاجسام

اما الشمس فانها ينبوع حراري لانه اذا عرض اي جسم لتأثير الاشعة الشمسية فيه ازداد طقسه وقد بحث العلم يوبيي عن كمية الحرارة التي تبعثها الشمس الى الارض في مدة السنة فوجد انها تكفي لاذابة طبقة من الثلج تغطي الارض بتمامها سمكها اربعة عشر مترًا

واما الحرارة الارضية فسيأتي الكلام عليها في كائنات الجو واما الاتحادات الكيماوية فان اغلبها يولد حرارة وفي بعض الاحيان ضوءًا ايضا فانه اذا مزج اربعة اجزاء من حمض الكبريتيك المتركز بجزء من الماء تكون عنه ممزوج طقسه مائة بل وزيادة واذا اتحد الحمض المذكور بالبوتاسا او الصودا او نحوهما تولدت عن ذلك حرارة واذا سحق الزرنيخ او الانتيمون او زرادهما على غاز الكلور حصل منهما حرارة وضوء وكذا تتولد الحرارة من صب حمض الكبريتيك على مخلوط من كلورات البوتاسا والجاوي ثم باخذ المخلوط في الالتهاب شيأ فشيأ والحرارة التي تتولد من اتقاد الخشب او الفحم او نحوهما انما هي من اتحاد اوكسيجين الهواء باحد الاجسام البسيطة وقد يحصل الاتقاد من اتحاد الكلور بجسم آخر والحرارة الحيوانية اكثرها ناتج من اتحاد كربون الدم باوكسيجين الهواء ثم ان معرفة كمية الحرارة التي تتولد من اتقاد جوهر من الجواهر القابلة للاتقاد امر مهم في العلم والاشتغال وقد بحث كثير من الطبيعيين عن ذلك بوسائط منها مقياس الحرارة ومعنى الرسوم في الشكل

١٤٩ وهو صندوق من نحاس احمر طوله ثمانية قراريط وكل من عرضه وارتفاعه اربعة وفي باطنه ملتوٍ احد طرفيه وهو الاسفل ينتهي بفم مجوف من اسفل الصندوق والطرف الثاني وهو العلوي ضيق يبرز من جانب الصندوق بعد ان يلتوي ذلك الملتوي في قعر الصندوق دورتين افقيتين وفي غطاء الصندوق فتحتان احداهما في تنفع لصب الماء فيه والاخرى ت

شكل ١٤٩



يثبت فيها بريمة ذو مستودع اسطوانى فاذا اريد امتحان كمية الحرارة التى تتولد من اتقاد جسم ثقله معين يوخذ ذلك الجسم ويحرق تحت الفتح فيرما تولد من اتقاده من الغازات ونحوها فى الملتوى فيرتفع طقسه ويرتفع طقس الماء كذلك وبمعرفة ثقل كل من الماء والملتوى والصندوق وطقس الماء قبل احراق الجسم تعلم بالتقريب كمية الحرارة التى تصرفت من اتقاد الجسم المختبر وبهذه الطريقة وجد ان الحرارة التى تتولد من اتقاد الكلوجرام من الايدروجين تكفى لرفع سخونة ٢٢٦٤٠ كيلوجرام من الماء درجة واحدة وان الحرارة التى تتولد من اتقاد الكيلوجرام من الكربون النقى تكفى لرفع سخونة ٧٩١٤ كيلوجرام من الماء درجة واحدة كذلك وهكذا كما فى الجدول

ايدروجين نقى	٢٢٦٤٠	فحم دسم	٦٠
فحم نقى	٧٩١٤	خشب جاف جدًا	٣٥٠٠
فحم الخشب	٧٣٠٠	خشب جاف فى الهواء	٢٦٠٠
كوك (نوع من الفحم)	٦٥٠٠		

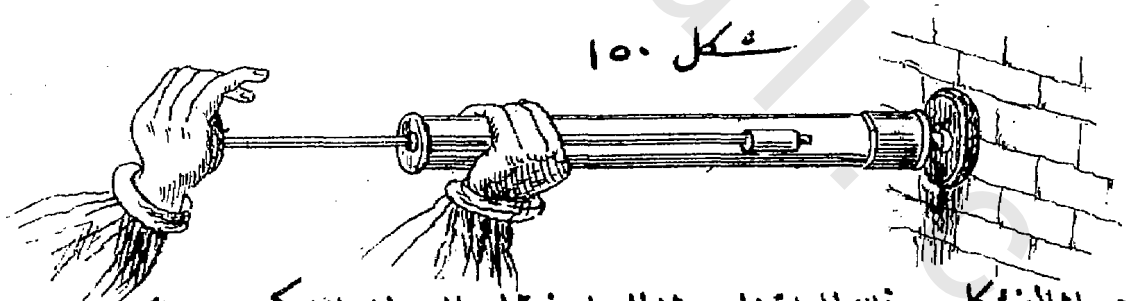
ومما يولد الحرارة فى الاجسام القرع عليها فاذا طرق جسم معدنى بمطرقة على سندال او ضغط بالآلة التى فيها نقش المعاملة على قطع النقود او شاخص التشريف وهى قطع معدنية ينقش عليها علامة الشرف سخن ذلك المعدن المنطرق سيما الفضة والنحاس فانهما اقوى المعادن فى التسخن بالطرق وسخونة المعادن من الطرق فى المرة الاولى اكثر منها فى المرة الثانية وفى الثانية اكثر من الثالثة وهكذا لحتى لا يبقى محل لتقارب الاجزاء من بعضها فلا يولد الطرق فيها حينئذ حرارة اصلاً وهذه الحرارة ناتجة من بعض الحرارة الكامنة ظهرت بالطرق والحرارة التى تتولد من طرق بعض المعادن التى لا ينقص حجمها بالطرق كالرصاص تنسب لتحرك جواهرها حركة اهتزازية

وما يولد الحرارة في المعادن وغيرها من الأجسام الجامدة كالخشب الدلك والاحتكاك فان مد ورالعجلة في العربات يشتعل اذا دير على محوره بسرعة ولذا يدهنونه بالشحم ونحوه لتلطيف الاحتكاك وخشب اذا احتك ببعضه التهب والصوان الرقيق الطرق اذا احتك به الزناد عند القدح خشنه وفصل منه اجزاء دقيقة فيها حرارة كافية لان تلتهب في الهواء واذا برد بالمبرد جسم مركب من جزء من الحديد وجزئين من الانتيمون خرج منه شرر هو الاجزاء المنفصلة بالمبرد التهبت في الهواء بسبب حرارتها الحادثة من الاحتكاك

وما يولد الحرارة في الاجسام التيارات الكهربائية وسيأتي بيانها في بابها

وضغط الغازات يولد مقداراً عظيماً من الحرارة بمعنى أن جميع الغازات اذا ضغطت تولدت منها الحرارة والدليل على ذلك الزند الهوائي المرسوم في الشكل ١٥٠ وهو اسطوانة من زجاج سميك في جزئها الأسفل قطعة معدنية فيها مكبس من جلد ينزل فيها ملامساً لجدرانها باحكام وفي اسفل المكبس تجويفة يوضع فيها قطعة من الصوفان فاذا رفع المكبس وانزل دفعة واحدة التهب الصوفان من الحرارة المتولدة من الهواء المنضغط والضوء الذي يحدث في هذه التجربة ناتج من اتقاد المادة الزيتية التي يدهن بها المكبس بدليل انه اذا استعمل مكبس غير مدهون

شكل ١٥٠



لا يشاهد اثر الضوء كما جرب ذلك العلم تينار ومثل الهواء في توليع الصوفان الاوكسيجين والكلوردون وغيرهما من الغازات فانها لعدم قوة الانضغاط فيها لا تولعه وانما تسخنه واما استحالة الأجسام فانه يتسبب عنها تارة حرارة وتارة برودة فاذا استحال أحد الغازات الى سائل بدون ينبوع برودة تولدت منه حرارة وكذا اذا استحال احد الموائع الى جامد

الكلام على ينابيع البرودة

ينبوع ينابيع البرودة هي استحالة الجامد الى سائل بالانحلال واستحالة السائل الى بخار وتحلل الغازات

والتشعع مطلقاً سيما التشعع الليلي

الكلام على المخاليط المبردة

بند ٢٤١ اذا خلط جزء من الملح المعتاد بجزء من الثلج أو الجليد المجروش اضاع المخلوط ونزل طقسه الى سبع عشرة درجة تحت الصفر فان كان المخلوط مركباً من جزئين من الثلج وجزء من الماء نزل طقسه الى عشرين تحت الصفر وهذا حاصل من ميل الملح للماء ومن كون الاجسام الجامدة اذا اذابت كمنت حرارتها وتشربت حرارة ما حولها وقد ذكرنا في (بند ١٩٨) ان الجليد يحتاج في ذوبانه الى حرارة كثيرة فيتشرب حرارة ما حوله حتى من نفس المخلوط ولذلك ينخفض طقس المخلوط ويأخذ في البرودة الزائدة واذا خلط ثلاثة اجزاء من كلورور الكلسيوم المسمى ايضاً كلورايدرات الجير بجزئين من الثلج يحدث من ذلك برد من تسع واربعين درجة تحت الصفر الى ثمان وخمسين سيما اذا برد كل على حدته قبل الخلط بان عرض كل منهما لبرد درجة عشرون تحت الصفر بواسطة الثلج والملح واذا خلط جزآن من الكلورور المذكور بجزء من الثلج حدث برد من خمس واربعين الى خمس وخمسين تحت الصفر ولو خلط عشرة اجزاء من حمض الكبريتيك المخفف بالماء بجزء من الثلج صار طقس المخلوط ستين بل ثمانيا وستين تحت الصفر فلو كان المخلوط جزأ من الحمض المذكور بجزء من الثلج أو الجليد المجروش لصار طقس المخلوط خمسين تحت الصفر ولو خلط أربعة اجزاء من البوتاسا بثلاثة من الملح او الجليد لصار طقس المخلوط ثمانيا وعشرين تحت الصفر واذا خلط اثنى عشر جزأ من الثلج أو الجليد بخمسة اجزاء من الملح وخمسة اجزاء من نيترات النوشادر صار طقس الممزوج من سبع وعشرين الى احدى وثلاثين تحت الصفر وخلط الثلج بحمض النيتريك المخفف بالماء يسبب برداً من سبع عشرة درجة الى ثلاث واربعين تحت الصفر فعلم من ذلك ان هذا الخلط كله مولد للبرودة

الكلام على البرودة المتولدة من استحالة السائل الى بخار

بند ٢٤٢ قد ذكرنا في بند ٢٠٤ ان البخار المتصاعد من جسم سائل يتشرب مقداراً عظيماً من الحرارة بصيرها كامنة فيه فينتج من ذلك ان المائع الآخذ في التبخر ان لم يكتسب مقداراً من الحرارة مكافئاً للمقدار الذي تشربه البخار انخفض طقسه وازداد التبرد بسبب السرعة التبخر

الكلام على

الكلام على البرودة المتولدة من تخلخل الغازات

سند ٤٣٣ اذا تخلخلت الغازات جدًا تولد عنها برودة والدليل على ذلك انه اذا علق ترمومتر في وسط قارورة الالة المفرغة ثم عمل الفراغ انخفض طقس الترمومتر كلما تخلخل الهواء حتى ينزل الى ثمان درج أو عشرة تحت الصفر اذا كان الترمومتر قوي الاحساس وكلما رجع الهواء في القارورة رجعت الحرارة شيأ فشيأ حتى تعود لحالتها الاولى

الكلام على البرودة المتولدة من الشعاع الليلي

سند ٤٣٤ سطح الارض تبلغ من الشمس بالنهار مقدارا من الحرارة اكثر من المقدار الذي يشعه لما حوله فيرتفع طقسه واما في الليل فيكون مقدار ما يشعه سطح الارض اكثر مما يشعع اليه مما حوله فينخفض طقسه وكلما كانت السماء اقل سحابا كان الانخفاض اكثر لان السحب تعكس الى الارض مقدارا عظيما من الحرارة المشعة اليها

الكلام على الحرارة الحيوانية

سند ٤٣٥ معرفة الحرارة في الحيوان مهمة جدًا وتوضيح الكلام فيها يستدعي تطويلا زائدا لا يحتمله هذا المختصر ومن منذ زمن طويل عملت فيه تجريبيات كثيرة بقصد الوقوف على كيفية تكونها في الحيوان ومن أين تأتي اليه ولم يتضح لهم ذلك اتضاحا كليا غير أن آخر ما استنتج من التجاريب الأخيرة التي عملها المعلم ديبرى مع الانتباه الكلي منه واخط عليه الأمر ان اكثر هذه الحرارة حاصل في الحيوان من التنفس وباقيها من التغذية وحركة الدم واحتكاك اجزاء الجسم ببعضها وما نتج من هذه التجاريب واخط عليه الأمر ايضا ان الاوكسيجين الداخل في الرئة بالتنفس يدخل جزء منه في البدن مع الدورة ويتصاعد بدله من الازوت وجزء يدخل في تكوين حمض الكربونيك ويخرج معه باخراج النفس فان الهواء الخارج بالتنفس يشتمل على ستة اجزاء من مائة من حمض الكربونيك

واهم من معرفة الحرارة في الحيوان معرفة كونها في كل نوع من انواعه بدرجة لا تتغير بتغير الفصول

ولا تختلف باختلاف الأماكن فهي في النوع الواحد من الحيوان في اشد الاقاليم بردًا كما هي فيه في
أشدها حرًا لا تتغير بدرجة واحدة لانها ان خرجت عن حدها في الحيوان ولو بدرجة واحدة
أضرت به ولولا ذلك لما أمكن ان يعيش اي حيوان في غير الاقاليم التي ولد فيها ولا ان ينتقل
الى غيرها ولها في كل نوع من انواع الحيوان درجة معلومة بالاستقراء كما هو مبين في الجدول
الآتي فلكل من الطير في الهواء والاسماك في البحار درجة مخصوصة وكل من المرض والحمة
والحمية لا يغير درجة الحرارة في الجسم عن الحالة الصحية الا بشيء بحيث لا يبلغ اكثر من
درجة وقد بحث العلم يوحنا داوي احد سياحي الانكليز عن درجة الحرارة في بعض انواع
من الحيوانات فوجدها في اهل بلاد السيلان واهل الهوتانتو بالافريقا وفي سودان المادغشقر
وفي قسس البراهمة ببلاد الهند اللذين لا يأكلون الا الخضراوات وفي الريد الذين لا يأكلون
الا اللحوم كانها واحدة تكاد أن لا تختلف ووجدان انزل درجة في هؤلاء ما وجده
في شخصين من اهل سيلان وتانتو في رأس الرجا فكانت درجة الحرارة فيها ٢٥ر٨ من المقياس
المائيني وان اعلا درجة ما وجده في طفلين من الاوروبيا مولودين في كلومبو بين أحدهما
ثمان سنين وبين الآخر ثنتا عشرة سنة واستنتج من استقرائه لانواع الحيوانات الحد
المتوسط لكل نوع من انواعه في اماكن درجة حرارتها ٢٥ر٠ من المقياس المائيني ووضعه
في هذا الجدول

انواع الحيوان	درجات الحرارة
تسع آدميات سن الواحدة ثلاثون سنة	١٤ و ٣٧
اربع آدميات سنهن ست وستون سنة	١٣ و ٣٧
اربع فتيات سنهن ثمان عشرة سنة	٩٩ و ٣٦
ثلاثة اطفال سنهم من يوم الى يومين	٠٦ و ٣٥
قرد	٠٨ و ٣٩
كلب عمره ثلاثة اشهر	٤٨ و ٣٩
هر ذكر	٧٨ و ٣٩
اربع بومات فيها قوة الطيران	٩١ و ٤٠
بومة بالغة	٤٧ و ٤١
غربان اسودان بالغان	٩١ و ٤٤
ثلاث حمامات	٩٨ و ٤٤
عصفور بالغ	٩٦ و ٤١
عقعقان	١٧ و ٤١
سنكابان من البنى	٦٩ و ١١
سنكابان من الطانش	٥٤ و ١١

هذا آخر الباب السابع في الحرارة

الباب الثامن

فى فن الأبصار

الدرس الحادى والاربعون

سند ٢٣٦ فن الأبصار فرع من علم الطبيعة يبحث فيه عن الضوء وخواصه فى توضيح الحوادث الصادرة عن الضوء رأيان رأى السريان ورأى التموج فعلى رأى السريان يقال أن الأجسام المضيئة تقذف دائمًا فى جميع الجهات جوهرا ماديًا لا يقبل الوزن دقيقًا جدًا وعند عظيمة جدًا بحيث يقطع فى الثانية ثمانين الف فرسخ وينفذ من الأجسام الشفافة بدون ان يفقد هذه السرعة وبوصول هذا الجوهر الى الباصرة يرينا الأجسام المضيئة الاتى هو منها

وعلى رأى التموج يقال أن الضوء نتيجة حركة اهتزازية تهيج فى وسط فى غاية الدقة والمرونة يسمى بالاثير والاثير يملأ الفراغ الكائن بين الاجرام الفلكية كما يملأ المسام الموجودة بين الأجزاء المادية من الأجسام القابلة للوزن وانتقال الحركة فيه كانتقال الامواج الصوتية فى الهواء فتنتقل فيه الامواج الضوئية من طبقة الى اخرى حتى تصل للباصرة فنحس بالضوء كما نحس السامعة بالصوت عند وصول الامواج الصوتية اليها والرأى الاول منسوب للعلم نوتون وهو مختار المتقدمين والثانى للعلم ديكارت وهو مختار المتأخرين

الكلام على ينبوع الضوء

سند ٢٣٧ جميع الأجسام تصير مضيئة اذا وصلت درجة حرارتها الى ٥٠٠ أو ٦٠٠ درجة سيما اذا كانت فى الظلمة وكلما ارتفعت درجة حرارتها كان الضوء المنبعث منها اقوى

وقد وجد المعلم بويللى (بواسطة البيرومتر الهوائى) ان لون الحرارة الاحمر يقابل ٥٠٠ درجة وأن لون الحرارة الاحمر الكاذى يقابل ٧٠٠ درجة والكرزى يقابل ٩٠٠ درجة والبرتقالى يقابل ١٠٠٠ درجة والابيض يقابل ١٣٠٠ درجة والابيض البراق يقابل ١٥٠٠ أو ١٦٠٠ درجة فيعلم من هذا ان الحرارة تصير ضوءاً اذا احمى الجسم الى درجة كافية لذلك وان الحرارة والضوء كيفيتان المؤثر واحد وكثير من الحوادث يوصل ايضاً الى هذه النتيجة فان الاشعة الضوئية تكاد ان تكون دائماً مصحوبة باشعة حرارية ومن هنا يعلم ان قوانين الانعكاس والانكسار فى الحرارة والضوء واحدة .

ويعلم مما ذكر ان ينابيع الحرارة تصير ينابيع للضوء اذا كانت كافية لذلك وان كلا من الاحتكاك والطرق والتأثيرات الكماوية يعتبر ينبوعاً ضوئياً فان الضوء الصناعى الذى نستضيئ به انما هو ناتج من التأثير الكماوى الذى يحدث عند الاتقاد ومن ينابيع الضوء الكهربائيه والفوسفورية اما الكهربائية فسيأتى الكلام عليها فى بابها وأما الفوسفورية فهى خاصية فى بعض الأجسام بها تصير مضيئة فى الظلمة بدون ان تنتشر منها حرارة مدركة أو حرارة مرتفعة ومن امثلة ذلك الفوسفور فانه يضئ فى الظلمة ومن الأجسام ما لا يصير فوسفوريا الا بالحرارة أو بالتأثيرات الميكانيكية او بشحنه بالكهربائية والظاهر أن الفوسفورية تنشأ من التأثيرات الكماوية البطيئة أو من الكهربائية

الكلام على الاجسام المعتمة والاجسام الشفافة والاجسام النصف شفافة

٤٣٨ تنقسم الاجسام غير المضيئة فى ذاتها على ثلاثة أقسام

الأول الاجسام المعتمة وهى التى لا ينفذ منها الضوء والقول بان عتامتها آتية من كثافة اجزائها احسن من القول بأنها من طبيعتها لانها اذا رققت جداً نفذ الضوء منها واذا لصقت ورقة رقيقة من الذهب على جسم زجاجى يشوهد منها ضوء مائل للخضرة اذا نظر من خلفها الشمس او المصباح

الثانى الأجسام الشفافة وهى التى ينفذ منها الضوء ولا تحجبها ورآءها فيرى ما خلفها اتم الرؤيه وهذه ان غلظ حجمها جدًا كالوتت لانها تشرب حينئذ جزءًا من الضوء النافذ فيها فلذا تجد الماء القليل صافيًا والماء الكثير ازرق او لخضر واذا وقف الانسان فى عمق بحر وكان البحر صافيًا جدًا وفوقه مائة وخمسون قدمًا من الماء شاهد ضوء الشمس كضوء القمر على الارض لا يزايد عند بعضهم

الثالث الأجسام المنصف شفافة أعنى التى بين الشفافة والمعتمة وهى التى ينفذ فيها بعض الضوء ولا تشاهد من خلفها الوان المرئيات ولا اشكالها ولا ابعادها كالورق المدهون بالزيت وكالزجاج المخشن

الكلام على انتقال الضوء

بيد اذا سرى الضوء فى وسط ذى طبيعة واحدة كالماء والهواء كان سريانه فيه على خط مستقيم والدليل على ذلك انه لو صفت ثلاثة اقراص من جسم معتم على سطرة وكانت تلك الاقراص مثقوبة من الوسط ثقبًا صغيرًا جدًا مع البعد عن بعضها لرؤيت شعلة المصباح من تلك الثقوب مع البعد عنها جدًا ولولا انها على خط مستقيم ما رؤيت

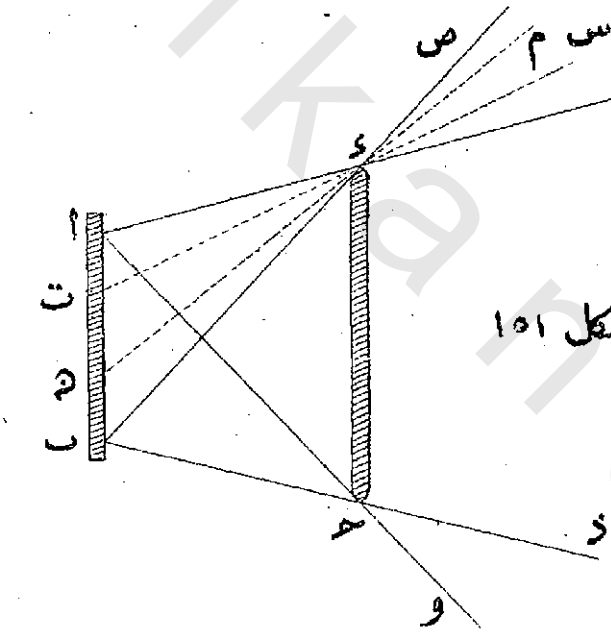
الكلام على الظل وشبه الظل

بيد الاجسام المعتمة اذا صادفها الضوء فى سيره على الخط المستقيم كما ذكرنا لا يستنير منها الا ما كان جهة الضوء والجهة المقابلة يوجد فيها ظل تلك الاجسام ويمتد بعيدًا عنها الى مسافة ما وكلما اشتد الضوء زادت قتامة الظل والظل المذكور لا ينتهى من جميع الجوانب بحد متميز تميزًا تامًا بل يظهر فى جوانبه خيال ظلى يأخذ فى الضعف حتى ينتهى وهذا الخيال يسمى شبه الظل ويسمى ايضا بالغبش

ثم ان الظل الذى يتكون ورآء الجسم المعتم يتحدد بعملية هندسية بسيطة اذا كان الجسم المذكور مستنيرًا بنقطة ضوئية واحدة لانه يكفى حينئذٍ مد مستقيم من النقطة المذكورة ماس للجسم المعتم

وتدويره حول الجسم دورة تامة بانعاته دائماً منكفأ عليه فيشمل حيثئذ سطح مخروطي امتداده من رأس الجسم وقاعدته المسافة المستنيرة بالنقطة الضوئية عن المسافة المحجوب عنها الضوء واذا كان الجسم المعتم مستنيراً بجسم مضيئ ذي ابعاد محدودة ظهر في جوانب الظل خيال ظلي تقاطعت شدته شيئاً فشيئاً حتى تنتهي بالضوء

ولايضاح ذلك نفرض سطرتين متوازيتين $\overline{اب}$ ، $\overline{حد}$ اولاهما مضيئة والاخرى معتمة ونمد الخطوط المستقيمة $\overline{اح}$ و $\overline{اد}$ و $\overline{بح}$ و $\overline{بد}$ من نهايتي السطرة الاولى الى نهايتي الثانية فلاشك أن آثار النقط الموجودة في المسافة $\overline{هـ ح د}$ محجوب عنها الضوء وان النقط الموضوعة فوق الخط $\overline{ب ح ص}$ أو تحت الخط $\overline{اح و}$ تستنير بالضوء الآتي لها من سائر نقط السطرة المضيئة وأما النقط الموضوعة في المسافة

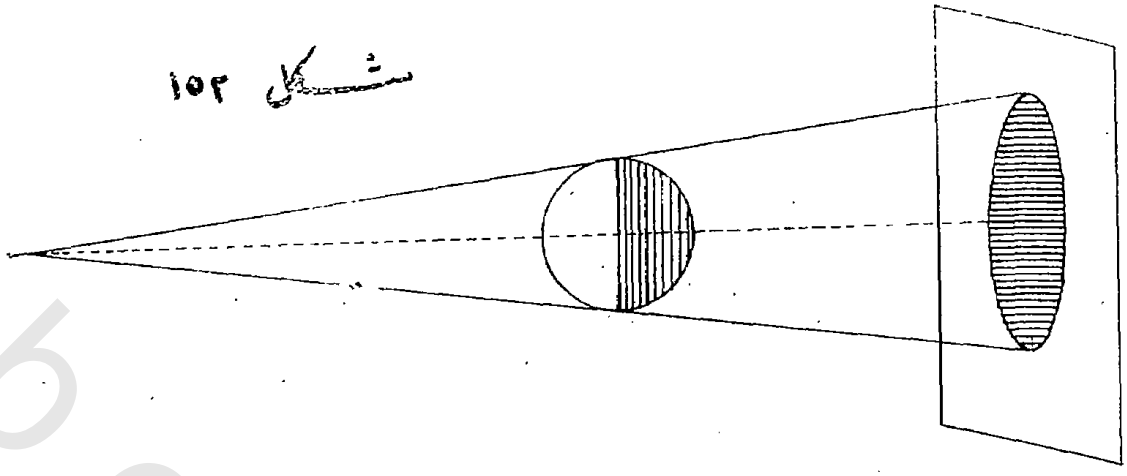


شكل ١٥١

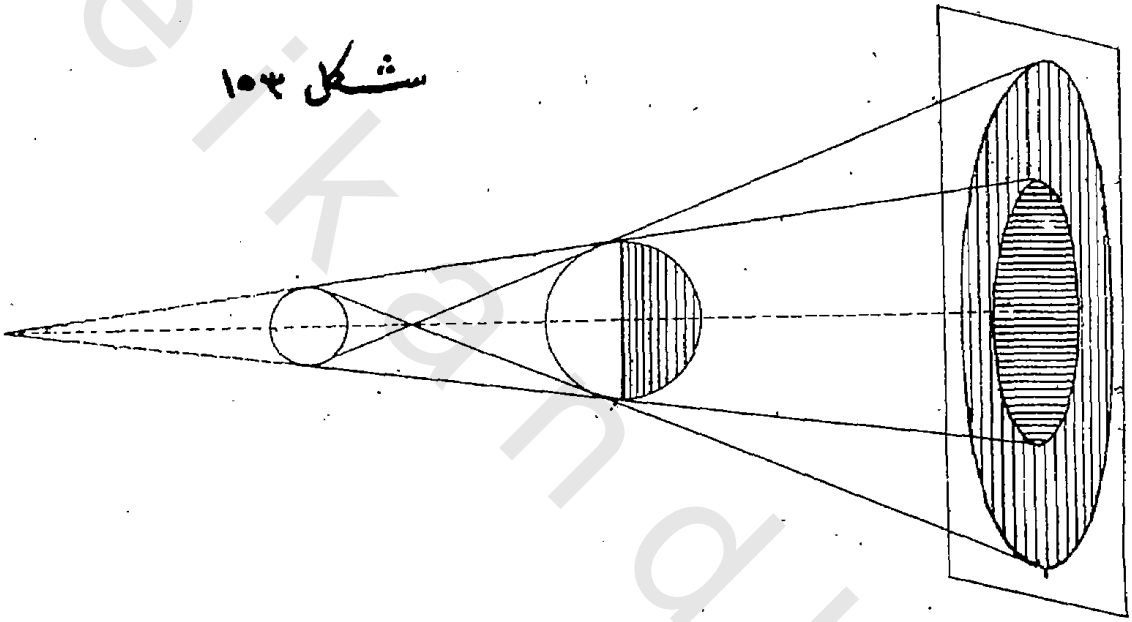
ص هـ و $\overline{ح د و}$ فانها تستنير بجزء من الضوء لا بكليته فان النقطة م مثلاً لاتستنير الا بجزء من السطرة $\overline{اب}$ وهو الكائن فوق الخط $\overline{م ح}$ والنقطة س لاتستنير الا بالنقط التي فوق الخط س هـ ت فحينئذٍ النقط الموجودة في المسافة ص هـ و تقل استنارتها كلما قربت تلك النقط من الخط هـ و ومجموع هذه النقط يكون ما يسمى بشبه الظل أو الغبش وكذا مجموع النقط التي في مسافة $\overline{ح د و}$

وبهذه الكيفية يتعين أثر الظل وأثر شبه الظل اذا بدلت السطرة المضيئة بكرة مضيئة والسطرة المعتمة بكرة معتمة بأن يمد مخروطان مماسان للكرتين فامتداد سطحي هذين المخروطين وراء الجسم المعتم يفرق الضوء عن شبه الظل وشبه الظل عن الظل

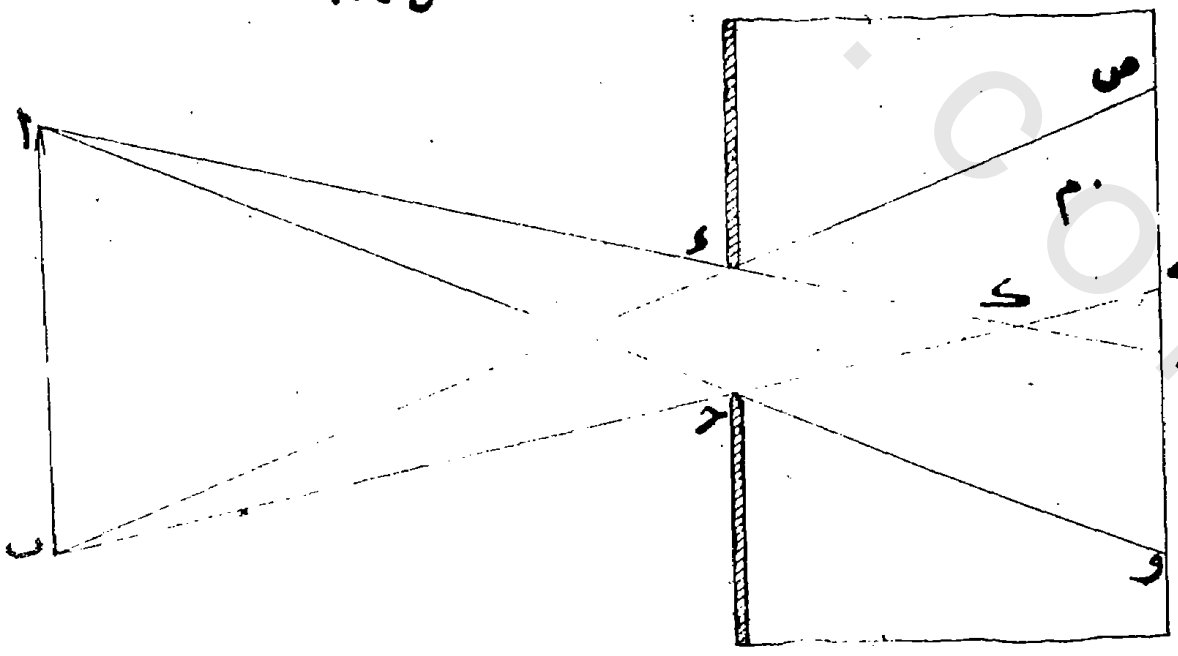
شکل ۱۵۳



شکل ۱۵۴



شکل ۱۵۴



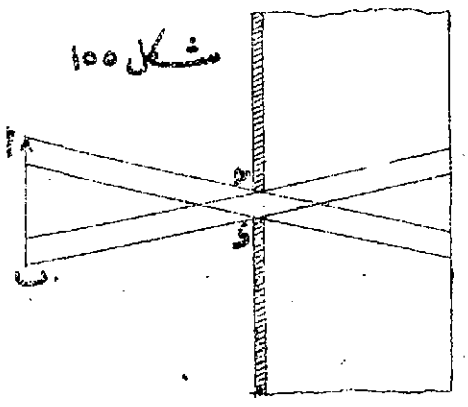
obeikandl.com

واذا وضع قرص معيني امام فتحة مصنوعة في حائط خزانة مظلمة فلا تستنير سائر نقطها بعنوء القرص بل منها ما يستنير بجميع نقط القرص ومنها ما يستنير ببعض نقطه ومنها ما لا يستنير بشيء منه ولايضاح ذلك نفرض أن القرص موضوع في ا ب مثلاً وان محل الفتحة هـ ز كما في الشكل فنقط الخزانة المحصورة في المسافة ك د ح تصير مستنيرة بجميع نقط القرص وأما النقط الموجودة في المسافات ح ك ز ، ز ك و ، و د ك فانها تصير في شبه الظل وبقية النقط الكائنة فوق ص فانها تصير في الظل كبقية النقط الكائنة تحت و

ويسهل معرفة نقط القرص التي تستنير بها اي نقطة من شبه الظل كالنقطة م مثلاً برسم مخروط رأسه في النقطة المذكورة وقاعدته الفتحة هـ ز المصنوعة في الحائط لان جميع نقط القرص المحصورة في هذا المخروط الممتد تبعث ضوءاً للنقطة م والقواعد المتقدمة تستعمل لايضاح حادثتين يظهر ببادي الرأي انهما من الغرائب

الاولى ان المرئيات التي توضع امام فتحة الخزانة المظلمة تكون صورتها مقلوبة في قعر الخزانة أو في جدرانها الجانبية

الثانية أن حزم الضوء الشمسي التي تدخل في الخزانة تحدث صورة مستديرة أو بيضية كائناً ما كان شكل الفتحة فلتوضيح الحادثة الاولى نقول أن كل نقطة من أي مرئي كان كالمرئي ا ب المرسوم في الشكل تبعث بناظر الخزانة ضغثاً ضوئياً أشعته تعتبر مستوازية وقطعه يساوي قطر الفتحة هـ ز فالنقطة ا مثلاً تبعث الضغث ا أ وتكون صورتها في أ والنقطة ب تبعث الضغث ب ت وتكون صورتها في ت والنقط الواقعة بين آ ت تكون صورها بين أ ، ت فتظهر صورة المرئي مقلوبة وكلما كان المرئي أبعد والفتحة اضيق كانت الصورة اوضح لان صور نقط المرئي



شكل ١٥٥

لا يمكن

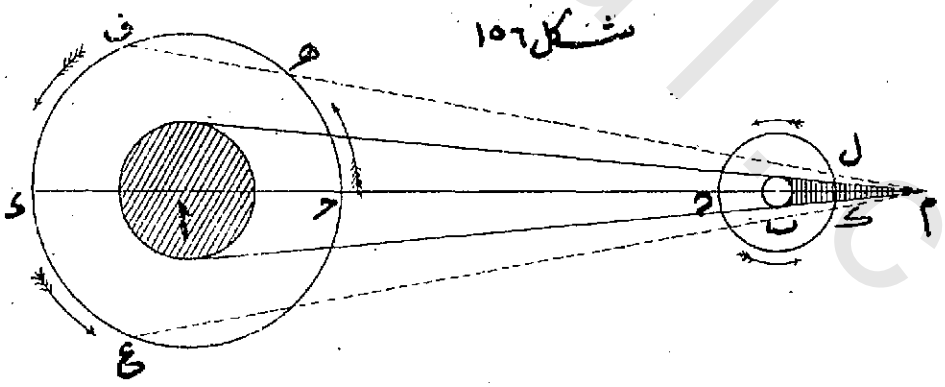
لا يمكن تميزها عن بعضها الا اذا كانت حزم الاشعة المكونة لها مصطفة جانب بعضها الا مختلطة ببعضها أو كان الجزء المختلط منها صغيرًا جدًا وهذا لا يتأتى اذا كانت المرئيات قريبة من الفتحة أو كان قطر الفتحة كبيرًا

ولتوضيح الحادثة الثانية نقول ان كل نقطة من الشمس تبعث في باطن الخزانة المظلمة حزمة اشعة متوازية مقاطعها الموازية للفتحة تساوي الفتحة المذكورة وان الصور المتكونة من جميع هذه النقط يمكن تحصيلها بتدوير احدى الحزم في الفتحة بابقائها دائمًا متكئة على حواف الشمس فينتج من هذا ان الخطوط التي تصل الى اطراف الصورة توجد على سطح مخروط مماس للشمس وتقاطعه يكون دائرة أو قطعًا ناقصًا على حسب كون المستوى القاطع عمودًا على محور المخروط أو مائلًا عليه فهذا هو السبب في كوننا نشاهد على وجه الارض صور الشمس مستديرة أو بيضية عند مرور اشعتها بين اوراق الاشجار المرتفعة

الكلام على سرعة الضوء

٢٤١ قد عين العلم رومير الفلكي في سنة ١٦٧٧ سرعة الضوء بتأمله في كسوف توابع المشتري

شكل ١٥٦



وبيان ذلك على ما هو مرسوم في الشكل الذي فيه حرف ا هو الشمس ف ت المشتري ه ح ف ى المدار الارضي ه ك ل م مدار أول توابع المشتري و ب ك ل م مخروط الظل الواقع خلف المشتري المستنير وجهه الثاني من الشمس آنًا فآنًا لو فرضنا ان الارض في نقطة ح من دائرتها سائرة الى ه ف وتأملنا في الانجلاء أن التي تقع لأول توابع المشتري بسبب خروجه

عن الظل وسيره على ا ح وقت ان تكون الارض في نقطة ح من مدارها الوجدنا ان بين كل انجلائين استين واربعين ساعة وثمانيا وعشرين دقيقة وستا وثلاثين ثانية هكذا ٤٨ ٢٨ ٣٦ ولو تأملنا في الكسوفات التي تحصل له بدخوله في الظل سائر فيه من نقطة ح لوجدنا ان بين كل كسوفين كما بين كل انجلائين اي ٤٨ ٢٨ ٣٦ فاذا كانت الارض في نقطة ه أو ف كانت تلك الانجلاءات متأخرة عما اذا كانت في نقطة ح وكذا الكسوفات واذا كانت الارض في نقطة ء كان مقدار التأخر ٢٦ ١٦ عما اذا كانت الارض في نقطة ح فيعلم من ذلك ان التفاوت بالتقديم والتأخير حاصل من الزمن اللازم لمرور الضوء من ه الى ف ومن ه الى ء وبتكرار التأمل يتبين أنه اذا كانت المسافة ه ء ضعف المسافة ه ف أو ثلاثة امثالها أو أربعة امثالها كان الزمن اللازم لمرور الضوء من ح الى ء ضعف الزمن اللازم لمرور من ه الى ف أو ثلاثة امثاله أو أربعة أمثاله كذلك على حسب المسافة التي يقطعها فعلم من ذلك أن حركة الضوء منتظمة فحينئذ تحصل سرعته بقسمة المسافة التي يقطعها على الزمن اللازم لقطعها وباحصاء المسافة التي من ح الى ء التي هي ضعف بعد الشمس عن الارض يعلم أن الضوء يقطع في كل ثانية ٧٨٠٠٠ ميلة (من الميلة التي قدرها ٤٠٠٠ مترا) فيصل الينا الضوء من الشمس بعد ثمان دقائق وثلاث عشرة ثانية لكون بعدها عنا نحو أربعة وثلاثين مليونا من الفراسخ فلو سترت عنا دفعة واحدة أو انمحت فجأة لبقيت شاهدة لنا بعد انمحائها مدة ثمان دقائق وثلاث عشرة ثانية ويقاس على ذلك بقية الكواكب التي هي ابعد عنا منها وبعد الكواكب عن الارض لم يعرف معرفة جيدة وانما عرف ان منها ما بعده عنا قدر بعد الشمس عنا مائتي الف مرة فهذا لا يصل الينا ضوءه الا في الف ومائة واحد واربعين يوما وهو ثلاث سنين وخمسة وثمانون يوما لان السنة الحقيقية ثلاثمائة وخمسة وستون يوما وست ساعات وكم من نجوم ابعد من هذه بعدة ملايين فلا يصل ضوءها الينا الا بعد ثلاثين سنة أو خمسين او مائة أو اكثر من ذلك فعلى هذا يمكن ان نشاهد بالآلات كواكب انمحى ضوءها في الازمنة

الينا

الينا قبل ان نولد وعلى ذلك لو فرض ان الكواكب التي نشاهدها انمحت لبقيت مشاهدة لنا مدة سنين متعجبين منها مع انها مفقودة ولا سرعة تماثل سرعة سير الضوء فان قلة المدفع التي تقطع في اول لحظة من خروجها من ثلاثة الاف قدم لو استمرت لها هذه السرعة سنة كاملة لما وصلت للسرعة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة لان سرعته اكبر من سرعتها باربعمائة الف مرة تقريبًا

في الاسباب المغيرة لشدة الضوء

يعلم كمية الضوء الساقط على وحدة السطح من جسم مستنير تسمى شدة الضوء ومقدارها يتغير بقانونين

الأول ان شدة الضوء على سطح معلوم تناسب عكس مربع بعد السطح عن الينبوع المضيء

الثاني ان شدة الضوء الماثل على سطح معلوم تناسب جيب الزاوية الحادثة بين الشعاع والسطح المستنير

فلتحقيق القانون الأول يقال انه اذا نفذ الضوء من ثقب ضيق ووقع على جسم بعيد عن ذلك الثقب بمسافة ثم ابعد عنه بمسافة ضعف المسافة الاولى زادت سعة السطح المستنير عما كانت اربع مرات وحيث أن الضوء لم تزد كميته وانتشر في مساحة قدر الاولى اربع مرات تضعف قوته عما كانت أربع مرات

ولتحقيق هذا القانون بالتجربة يؤخذ قرصان من الورق ويفصلان بحائل ثم ينور احدهما بشمعة والآخر باربع شمعات بعدها عن القرص المستنير بها ضعف بعد الشمعة الاولى عن القرص المستنير بها كذلك فيشاهد ان استنارة القرصين واحدة وبهذا تعلم صحة القانون الأول

ولتحقيق القانون الثاني بالحساب تفرض حزمة ضوئية اشعتها متوازية كالمرسوم عليها $\overline{آ و}$ و $\overline{هـ ت}$ في الشكل وساقطة على سطح $\overline{آ ه}$ وصانعة معه زاوية قدرها م ونفرض أن س كمية الضوء الساقط على السطح المذكور ونرمز بالحرف ے لشدة الضوء عن كمية الضوء الساقطة على وحدة السطح فيكون $ے = \frac{س}{آ ه}$ ..... (١)

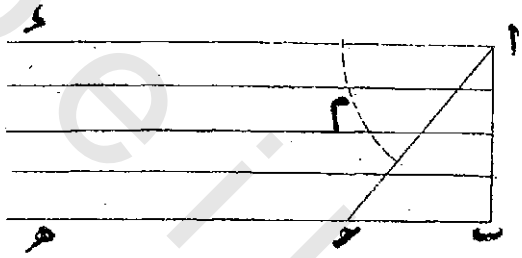
وحيث أن $\overline{آ ب}$ مسقط سطح $آ ه$ على مستو عمودي على اتجاه الحزمة يكون $آ ب = آ ه$ جام ومنه يحدث $آ ه = \frac{آ ب}{جام}$ وبابدال $آ ه$ بمقدار نظيره المتساوية (١) هكذا

$ص = \frac{جا م}{جا ن} س$ وبهذا نعلم صحة القانون الثانى (٢٨) وأما تحقيقه بالتجربة فلا حاجة له اذ من المعلوم ان استقامة السطح تقل كلما زاد ميل الاشعة الساقطة عليه وتزيد كلما قربت من الاتجاه العمودى عليه

الدرس الثانى والاربعون

فى انعكاس الضوء

شكل ١٥٧



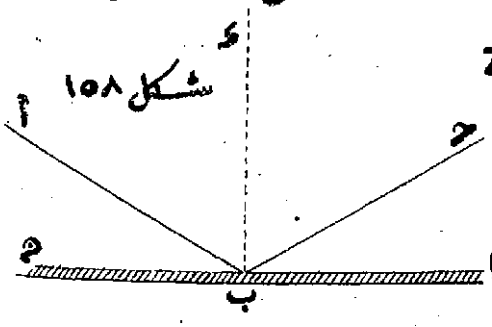
سند ٩٤٣ من خواص الضوء أن ينتشر من الاجسام المضيئة فى كل جهة والدليل على ذلك انه اذا وضع المصباح فى مركز كرة مجوفة شفافة ابصر من كل نقطة منها

والشعاع الضوئى هو الاجزاء الضوئية المتجهة من الجسم المضيئ الى جهة ما — والضغث الضوئى جملة اشعة تجتمع من احد طرفيها على هيئة الضغث — والحزمة الضوئية مجموع اضغاث واشعة الضغث أو الحزمة الضوئية تتفرج كلما امتدت الاشعة بعيدا عن النقطة الضوئية فكلما امتدت كان قطعها اوسع غير انها اذا كانت النقطة الضوئية بعيدة جدا يظهر أن أشعة الحزمة متوازية

فى انعكاس الضوء على السطوح المستوية

سند ٩٤٤ اذا سقط شعاع ضوئى على سطح مستو صقيل من جسم معتم راع عن سيره وارتد كارتداد كرة مرنة وهذا الارتداد هو المسمى بالانعكاس فاذا كان م ه السطح المستوى العاكس و ا ب الشعاع الساقط و ب ء العمود على السطح م ه و ب حـ الشعاع المنعكس سميت الزاوية ا ب ء بزاوية السقوط والزاوية ء ب حـ بزاوية الانعكاس اذا علمت ذلك فاعلم أن انعكاس الضوء يكون بقانونين

شكل ١٥٨

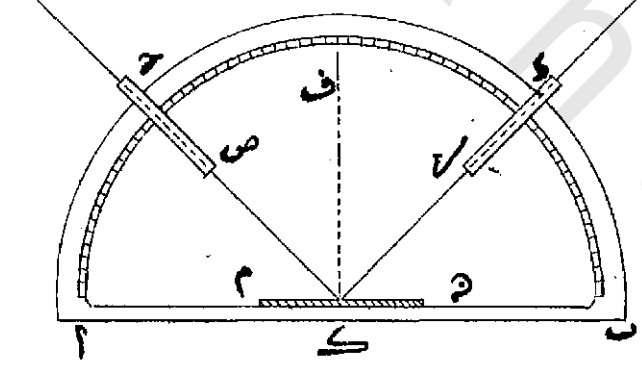


الاول أن زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط

الثانى أن الشعاع الساقط والشعاع المنعكس يوجدان فى مستو واحد عمودى على السطح العاكس

فلتحقيق هذين القانونين نوخذ نصف دائرة مدرجة ا د ح وبها مرآة مستوية صغيرة م ح وانبوبتان ضيقتان جدًا ومزهما حص ، ك ے والمرآة موضوعة قرب مركز الدائرة عمودية على مستويها ويمر مستويها بالقطر ا ب والانبوبتان يمكن تحريكهما على حافة الدائرة ومحور كل منهما متجه الى المركز وباطن كل منهما مسود ليتشرب الضوء الذى يسقط على السطح الباطن ثم يدخل ضغث ضوئى فى باطن الأنبوبة حص ثم توضع العين على الانبوبة الثانية ك ے وتحرك هذه الانبوبة حتى يرى الشعاع المنعكس فيشاهد أن هذا الشعاع لا يمر من الانبوبة الا اذا كان القوسان ح ت ، ا ح متساويين ومن تساوى هذين القوسين تتساوى الزاويتان ے ك ح ، ص ك م فتكون زاوية ، ك ے مساوية لزاوية ح ك ص اى ان زاوية الانعكاس تساوى زاوية السقوط وبهذا تعلم صحة القانون الأول

شكل ١٥٩



وأما القانون الثانى فانه يتحقق ايضًا بوضع الآلة لان الخطوط ف ك ، ص ك ، ے ك كائنة فى مستو واحد ولا يحدث من الضغث الضوئى الا شعاع منعكس اذا كان سقوطه على مرآة مستوية معدنية فان سقط على مرآة زجاجية (كالجارى استعمالها فى البيوت) حدث من انعكاسه شعاعان او ثلاثة أو اكثر وسبب ذلك ان جزءًا من الضوء الساقط ينعكس على السطح الظاهر من الزجاج والجزء الآخر ينفذ منه وينعكس بمقابلته بطبقة التصدير المغشى للمرآة والشعاع الحاصل من الانعكاس الأول يكون أقل نورًا من الشعاع الحاصل من الانعكاس الثانى لان قوة الزجاج العاكسة للضوء اقل منها فى السطوح المعدنية غير انه يتوصل لازدياد لمعانه بتمييل المرآة تميلًا كافيًا عن

اتجاه الشعاع الساقط

فاذا كان الميل عظيماً لا يخرج من الزجاج الا جزء من الشعاع المنعكس على طبقة القصدير وما بقي منه ينعكس انعكاساً جزئياً داخلياً وبوصوله الى طبقة القصدير ينعكس مرة اخرى ويكوّن شعاعاً ثالثاً وقد يتحصل شعاع رابع واحياناً يتحصل شعاع خامس وسادس وهكذا غير ان هذه الاشعة تأخذ في الضعف لانه في كل انعكاس يتلاشى جزء من الضوء

في الانعكاس غير المنتظم

٤٤٥ يشبه ان كل ضوء ينعكس من جسم يكون بقانون في الانعكاس المتقدمين بل منه ما يتلاشى جزء منه على السطح العاكس اعني ينعكس منه في جميع الجهات وهذا الجزء المتشتت هو الذي يرينا اشكال الاجسام غير المنيرة في ذاتها ويرينا ايضاً الوانها لان الاشعة المنعكسة بالانتظام لا ترينا الأجسام الساقطة هي عليها بل ترينا صور الأجسام الآتية هي منها

فاذا وضعت مرآة معدنية صقيلة جداً في خزانة مظلمة واسقط عليها حزمة من ضوء الشمس وشوهدت صورة الشمس بدون ان تشاهد المرآة لكن يلزم لمشاهدة الصورة ان يكون المشاهد في اتجاه الاشعة المنعكسة

واما اذا استعملت مرآة أقل صقالة من الاولى او دُرّ على المرآة الاولى مسحوق ناعم من طباشير أو غيره وشوهدت المرآة من آخر تسقط الخزانة كما اذا كانت منيرة في ذاتها ويقل لمعان صورة الشمس المنعكسة منها فعلم من هذا ان الاشعة المتشتتة بعكس الاشعة المنعكسة بالانتظام اي انه كلما قلت صقالة المرآة زادت نورانية الاشعة المتشتتة

الكلام على شدة الضوء المنعكس

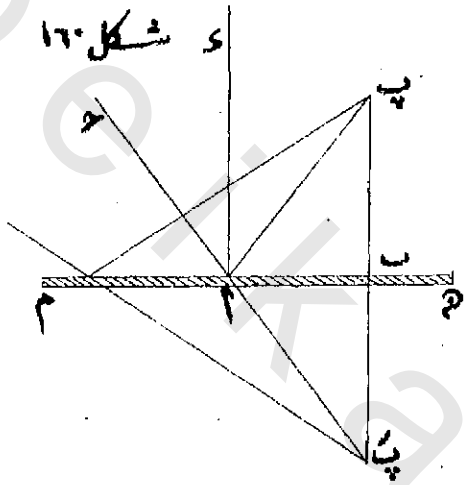
٤٤٦ يشبه كمية الضوء المنعكس من جسم تتعلق بطبيعة الجسم العاكس وبدرجة صقالته وميل الاشعة بالنسبة للسطح العاكس فقد علم بالتجربة ان الزيبق يعكس الضوء أحسن من المواد الأخرى وان السطح المصقول يعكس اكثر من السطح غير المصقول وتأثير ميل الاشعة بالنسبة

للسطح

سطح العاكس ظاهر فان شدة الاشعة العمودية اعظم من شدة الاشعة المائلة

الكلام على انعكاس الضوء على مرآة مستوية

٢٩٧ يسهل بما ذكر تعيين شكل صورة المرأى ووضعها الحادثين من انعكاس الاشعة الضوئية على المرايا المستوية وذلك ان شكل هذه الصور كشكل المرأى ووضعها مماثل لوضع المرأى بالنسبة لمستوى المرآة



شكل ١٦٠

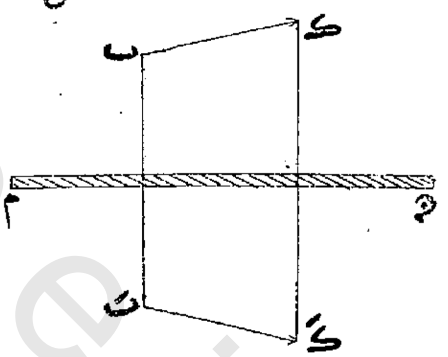
ولنعتبر اولا نقطة ضوئية موضوعة فى ب امام المرآة المستوية م ح وتنزل من هذه النقطة عمودا ب ب على مستوى المرآة ثم نأخذ على هذا العمود نقطة ب بعدها عن المرآة ب ب يساوى بعد ب ب فتكون نقطة ب صورة النقطة ب بمعنى أن الاشعة التى تسقط على المرآة بمراتجاه كل واحد منها بعد الانعكاس بالنقطة ب وترى كأنها منبعثة من هذه النقطة

ولايضاح ذلك نفرض أن ب ا شعاع ساقط وأن ب ا المستقيم المار بالنقطة ب وبنقطة السقوط ا فنشاهد أن المثلثين ب ا ب و ب ا ب متساويان لان الضلع ا ب مشترك وضلع ب ب يساوى ضلع ب ب بالعمل والزاوية ب ب ا القائمة تساوى الزاوية القائمة ب ب ا فينتج أن زاوية ب ا ح = ب ا ح

وحيث أن زاوية ب ا ح تساوى مقابلتها م ا ج تكون زاوية ب ا ح مساوية لزاوية م ا ج وعليه تكون زاوية ب ا ء مساوية لزاوية ج ا ء وحينئذ يكون المستقيم ا ج على استقامة الشعاع المنعكس لانه فى مستوى السقوط ومكون مع العمود ا ء زاوية مساوية لزاوية السقوط وكذا يقال فى بقية الأشعة الساقطة فتبين أن الاشعة الساقطة على المرآة بمراتجاه كل منها بعد الانعكاس بالنقطة ب وترى كانها منبعثة من هذه النقطة فاذا

وضع الانسان عينه على اتجاه الاشعة شاغلة النقطة المضيئة في پ في وضع مماثل لوضع النقط المرئية

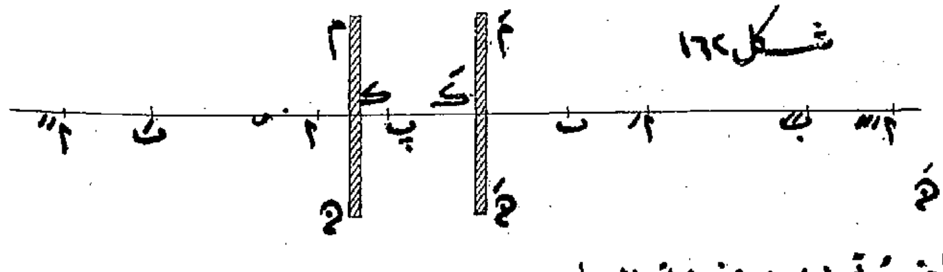
في الصور المشاهدة في المرايا المستوية



بند ٢٤٨ اذا وضع مرأى منير كالمرأى ب ك امام المرآة المستوية م ﺣ كانت صورته بَ كَ مساوية ومماثلة له ويتضح ذلك أن أي نقطة من نقط المرأى كالنقطة ب مثلاً تكون صورتها في بَ والنقطة ك تكون صورتها في كَ والنقط التي بين ب و ك تكون صورها بين بَ و كَ فحينئذ تكون الصورة بَ كَ مساوية ومماثلة للمرأى ب ك غير انها تكون اقل لمعاناً من المرأى لان الأجسام العاكسة تتشرب دائماً جزأ من الضوء الساقط على سطحها وتشتت جزأ آخر منه

في الانعكاس الحاصل على مرآتين متوازيتين

بند ٢٤٩ اذا وضع مرأى بين مرآتين مستويتين متوازيتين تضاعفت صوره بلا نهاية لان كلا من المرآتين يعكس ما انطبع فيه في الاخرى والباصر يشاهد الصور مصطفة خلف بعضها وكلما بعدت صورة ضعف ادراكها فاذا اريد مشاهدة الصور الحاصلة من انعكاس كل مرآة فليوضع بين المرآتين جسم ذو لونين كالاحمر من جهة والازرق من اخرى فيشاهد في احديهما جميع الصور حمراً زرقاً ويشاهد في الثانية جميع الصور زرقاً حمراً على التوالي وما هو مرسوم في الشكل يوضح ذلك فان فيه المرآتين المتوازيتين



م ﺣ و مَ ﺣَ والنقطة المضيئة پ موضوعة بينهما

فالاشعة المنبعثة من النقطة ب الى المرآة م ح تكوّن صورة اولى فى النقطة ا على بعد
اك = ب ك والاشعة المنعكسة من هذه المرآة تسقط على المرآة م ح وتنعكس منها
وتكوّن صورة ثانية فى النقطة أ على بعد أك = اك ثم تنعكس الاشعة من هذه المرآة
الى المرآة م ح وتكوّن صورة ثالثة فى أ على بعد أك = أك وهلم جرا
والاشعة الساقطة من النقطة ب على المرآة م ح يحدث من انعكاسها على المرآة م ح
صورة اولى فى ب وصورة ثانية فى بَ بسبب انعكاسها على المرآة م ح وصورة ثالثة
فى بَّ بسبب انعكاسها على المرآة م ح وهكذا فتتعدد صور النقطة الضوئية فلو كانت
المرايا لا تشرب شيأ من الضوء فى كل انعكاس لكان يشاهد صور لا تحصر لعددها

فى الانعكاس الحاصل على مرآتين متعامدتين

شكل ٥٠ لتكن ب نقطة ضوئية موضوعة بين مرآتين متعامدتين وم ، وح تقاطع
كل منهما بالمستوى ب م ح العمودى على فصلها المشترك و ب اك محيط الدائرة المرسوم
بالمركز و وبنصف قطر و ب فالاشعة الضوئية التى تسقط من نقطة ب على المرآة
وم تحدث صورة اولى فى النقطة ا ثم تنعكس على المرآة وم وتكوّن صورة ثانية
فى نقطة ب والاشعة الساقطة من نقطة ب على المرآة وم تحدث صورة اولى فى ج
وصورة ثانية فى ب وحيث أن هذه الصورة تتحد بالصورة الثانية الحادثة من الانعكاس
على المرآة وح تكون جملة الصور المتميزة ثلاثة فاذا وضع الانسان عينه بين المرآتين شاهد
النقطة الضوئية مكررة اربع مرات واحدة اصلية وثلاثة بالانعكاس

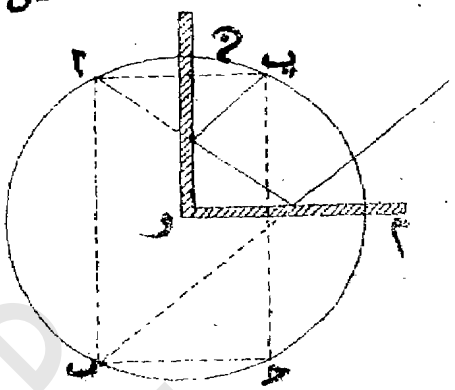
فى الانعكاس الحاصل على مرآتين مائلتين

شكل ٥١ اذا وضع مرآى بين مرآتين مستويتين مائلتين بزاوية ما تضاعف عدد الصور على
حسب زاوية الميل فاذا كانت زاوية الميل خمس المحيط كان المتحصل خمس صور واذا كانت
زاوية الميل سبع المحيط كان المتحصل سبع صور وهكذا

في الكاليد وسكوب اى مرآة العجائب

٢٥٤ صناعة الكاليد وسكوب المؤسسة

شكل ١٦٢



على انعكاس الضوء على مرآتين مائلتين وهي آلة تنظر بها امور عجيبة وهي مكونة من اسطوانة مجوفة طولها من ثمانية قراريط الى عشرة يجعل في طرفها مرآتان مائلتان بحيث تكون منهما زاوية ويربط في طرفها علبة صغيرة قعرها وغطاؤها من زجاج غير ان قعرها غير صقيل ويوضع في تلك العلبة قطع مختلفة من اجسام ملونة كالحرير الملون فيتكون من انعكاس تلك القطع في المرآتين رسوم مختلفة تتغير اشكالها اذا دارت العلبة وتشاهد هذه الرسوم من ثقب صغير في وسط قطعة من المقوى يجعل في الطرف الآخر من الاسطوانة لتسده وهذه الآلة تعمل لتحصيل رسوم غريبة تنقش صورتها في ثياب الحرير والقصب وغيرها وعدد ما يحدث من الصور يكون على حسب درجات زاوية الميل بين المرآتين فاذا كانت زاوية الميل بينهما بعدد خمس المحيط كان المتحصل خمس صور وبقدر سدسه كان المتحصل ست صور وجزء من عشرين منه كان المتحصل عشرين صورة وهكذا وبالجملة اذا كانت نقطة صنوبرية موضوعة على الخط المنصف لزاوية المرآتين وكانت الزاوية المذكورة داخلة مرارا صحيحة عددها ن في الاربع زوايا القائمة يكون عدد الصور (ن - ١) ويتكون من المرقى وصورة شكل منتظم عدد اضلاعه ن ورؤس زواياه على محيط دائرة مركزه رأس الزاوية الكائنة بين المرآتين ونصف قطره بُعد النقطة الصنوبرية عن رأس هذه الزاوية فتكون النقطة الصنوبرية في رأس احدى زواياه وكل صورة في رأس زاوية من الزوايا المحيطية الأخر وتكون رؤس الزوايا المذكورة مثما ثلة الوضع بالنسبة لكل من المرآتين فاذا رمزنا بحرف ع لعدد درجات زاوية المراتين وبحرف م لعدد الصور

يجد دائما

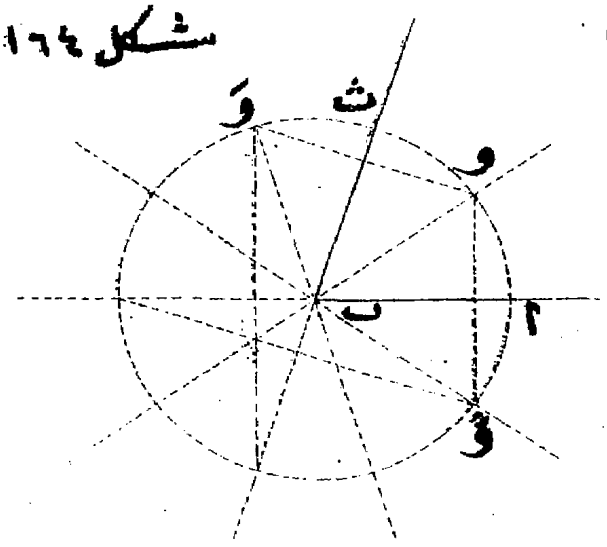
نجد دائماً

$$م = \frac{٣٦٠ - ع}{ع}$$ اذا كان المرئي على منصف الزاوية

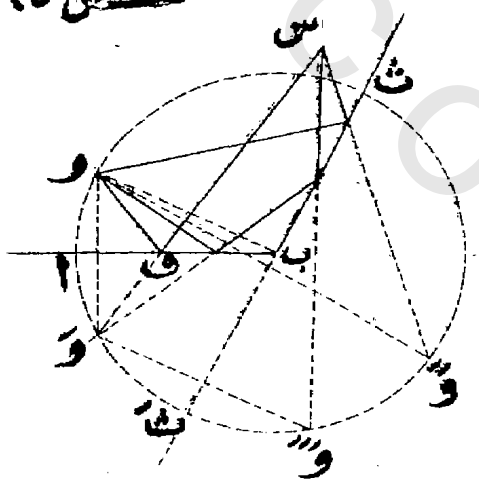
ومن هذا القانون يظهر انه اذا كانت المرآتان متوازيتين حدثت صور لانهائية واذا كانت زاوية الميل بينهما بقدر نصف المحيط فلا تحدث الا صورة واحدة

واذا فرضنا المرئي غير موضوع في منصف الزاوية المفروض انها داخلة مرآتا المجسمة في الاربع زوايا القائمة ظهر لنا انه اذا كانت الزاوية التي بين المرآتين مساوية لثلث المحيط أي ١٢٠ درجة وكانت النقطة الضوئية و ورأس الزاوية ب والمرآتان آب ، ب ث حدث صورتان إن كانت الزاوية آب و = ٦٠ درجة فان كانت الزاوية آب و أصغر من سدس المحيط حدث ثلاث صور وَ وَّ وَّّ ويلزم لمشاهدة هذه الصور ان تكون العين موضوعة في وضع مناسب س لتظهر الصور واضحة للباصر لانه بهذا الوضع يشاهد صورة وَ على الشعاع س وَ وصورة وَّ على الشعاع س وَّ وصورة وَّّ على الشعاع س وَّّ

شكل ١٦٤



شكل ١٦٥



وبالجملة اذا بحثنا عن عدد الصور الحادثة من مرآتين مستويتين مكونتين لزاوية ع = $\frac{٣٦٠}{ن}$ بغرض المرئى لا على منصف الزاوية نجد اولا انه اذا كانت ن زوجية فعدد الصور يكون ن - ١ أو م = $\frac{٣٦٠ - ع}{ع}$

وثانيًا انه اذا كانت ن فردية فعدد الصور يمكن ان يكون مساويًا لكمية ن وينعين بالقانون م = $\frac{٣٦٠}{ع}$

فاذا كانت ع = ٩٠ أو ٧٢ أو ٦٠ أو ٤٠ وهذا مطابق ن = ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٩ كان عدد الصور ٣ فى الاول ، ٥ فى الثانى والثالث ، ٩ فى الرابع أى أن عدد الصور مفرد

الدرس الثالث والاربعون

الكلام على انعكاس الضوء على المرايا الكروية

٥٥٤ سند من المرايا الكروية ما هو مقعر ومنها ما هو محدب فاما المرايا المقعرة فهى قطع كروية صقيلة من جوفها واما المرايا المحدبة فهى قطع كروية صقيلة من ظاهرها والمحور الاصلى للمرآة المقعرة أو المحدبة هو الخط المستقيم الممتد من مركز الكرة ومركز الشكل وكل خط مستقيم مُدَّ من مركز الكرة يسمى محورًا ثانويًا

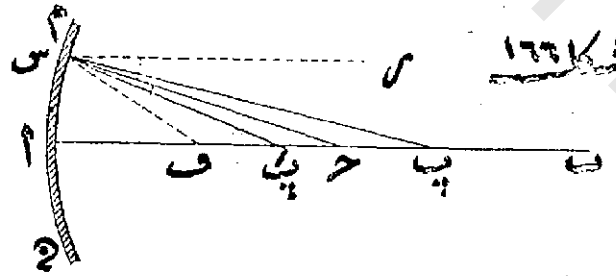
الكلام على البورة فى المرايا المقعرة

٥٥٥ سند اذا اعتبرت نقطة ضوئية على المحور الأصلى للمرآة المقعرة م ا ح كائف الشكل على بعد كبير جدًا بحيث يمكن اعتبار الاشعة المنبعثة منها متوازية فالاشعة المنعكسة تجتمع فى نقطة واحدة وهذه النقطة تكون فى وسط نصف القطر وذلك انه اذا كان ر س أحد الاشعة الساقطة و ا ت المحور الأصلى و ح س

الخط العمودى فى نقطة السقوط ، س ه الشعاع المنعكس كان المثلث حس ف متساوى الساقين لان الزاوية ف حس تساوى الزاوية ر س حـ المبادلة لها والزاوية ر س حـ التى هى زاوية السقوط تساوى الزاوية ف س حـ التى هى زاوية الانعكاس فتكون الزاوية ف حس مساوية للزاوية ف س حـ ويكون المثلث حس ف متساوى الساقين اعنى يكون حف = ف س وحيث ان النقطة س قريبة جدًا من النقطة ا يكون ف س = ف ا وعليه يكون حف = ف ا فتبين أن الاشعة الموازية للمحور التى بعد كل منها عن المحور كبعد الشعاع ر س عنه تمر بعد انعكاسها بالنقطة ف واما الاشعة الموازية للمحور التى ابعادها عن المحور غير متساوية فانها تمر بعد انعكاسها بنقط مختلفة غير انه اذا كانت فتحة المرآة م حـ ح لا تزيد عن عشر درجات أو ١٥ درجة تصير نقط تقاطع المحور بالاشعة المنعكسة قريبة جدًا من النقطة ف بحيث يمكن اعتبارها منطبقة بها وهذه النقطة ف تسمى البورة الاصلية للمرآة والبعد ا ف يسمى البعد البؤرى الأصلى وهو يربع قطر المرآة

واذا اعتبرت نقطة ضوئية موضوعة على المحور الأصلى للمرآة تخلف المركز كما فى الشكل

شكل ١٦٦



على بعد محدود فالاشعة المنعكسة تتقاطع ايضا فى نقطة واحدة لكنها غير البورة الاصلية

ولايضاح ذلك نفرض أن ب النقطة الضوئية ، ب س أحد الاشعة الساقطة ، حس الخط العمودى فى نقطة السقوط فالنقطة ب التى هى تقاطع المحور بالشعاع المنعكس س ب تصير موضوعة بين البورة الاصلية ف ومركز المرآة حـ لانه من حيث أن زاوية السقوط ب س حـ أصغر من الزاوية ر س حـ تكون زاوية

الانعكاس بَ سَ حـ أصغر من الزاوية ف سَ حـ ويكون الخط بَ حـ أصغر من الخط ف حـ والاشعة الاخرى المنعكسة تمر أيضًا بالنقطة بَ وهذه النقطة هي بورة الاشعة المنبعثة من النقط بـ

واذا قربت النقطة بـ من مركز المرآة قربت البورة بَ منه ايضًا لان زاوية الانعكاس تنقص تبعًا لزاوية السقوط

واذا كانت النقطة الضوئية في المركز حـ صارت البورة فيه ايضًا لانه بانعدام زاوية السقوط تنعدم زاوية الانعكاس

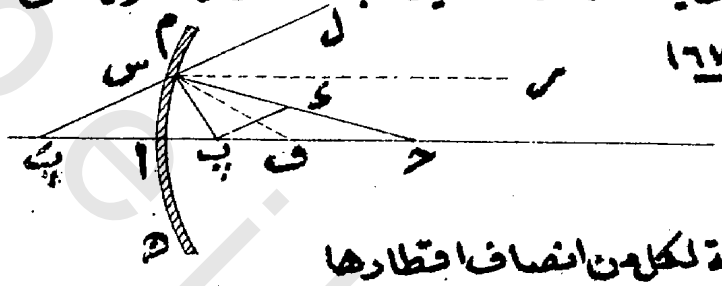
واذا اعتبرت النقطة الضوئية موضوعة على المحور بين المركز والبورة الاصلية صارت بورتها على المحور كذلك لكنها خلف المركز لان الاشعة المنبعثة من النقطة بـ تمر بعد انعكاسها بالنقطة بَ فبالعكس الاشعة المنبعثة من النقطة بَ تمر بعد انعكاسها بالنقطة بـ وكلما قربت النقطة الضوئية من البورة الأصلية بعدت بورتها عن المركز فاذا صارت النقطة الضوئية في البورة الأصلية بعدت بورتها عن المركز بعدًا لانهاية له

واذا اعتبرت النقطة الضوئية موضوعة بين البورة الاصلية والمرآة فالاشعة المنعكسة لا تمر بنقطة واحدة كما في الحالات السابقة بل تنفرج وتزداد انفراجها كلما قربت النقطة الضوئية من المرآة

فاذا كانت بـ النقطة الضوئية كما في الشكل ١٦٧ بـ س أحد الاشعة الساقطة ر حـ س الخط العمودي في نقطة السقوط فالشعاع المنعكس س ل يصنع مع الخط العمودي حـ س زاوية ل س حـ اكبر من الزاوية ر س حـ لان زاوية السقوط بـ س حـ اكبر من الزاوية ف س حـ والشعاع س ل لا يقطع محور المرآة الا اذا فرض انه امتد على استقامته نافذًا منها والنقطة بَ التي هي تقاطع امتداده بالمحور تسمى البورة التقديرية للنقطة بـ والاشعة المنعكسة لا تمر بهذه النقطة بل اتجاهها هو الذي يمر بها

ويزداد قرب البورة التقديرية من المرآة كلما قربت النقطة الضوئية منها والبور الحقيقية أو التقديرية لا تتكون على المحور الاصلي للمرآة الا اذا كانت النقطة الضوئية عليه وتتكون على الخط المستقيم الممتد من النقطة الضوئية الى مركز كرة المرآة ويتغير وضعها بحسب بعد النقط الضوئية عن المرآة تغيرا تابعا لقوانين المحور الاصلي المذكورة

شكل ١٦٧



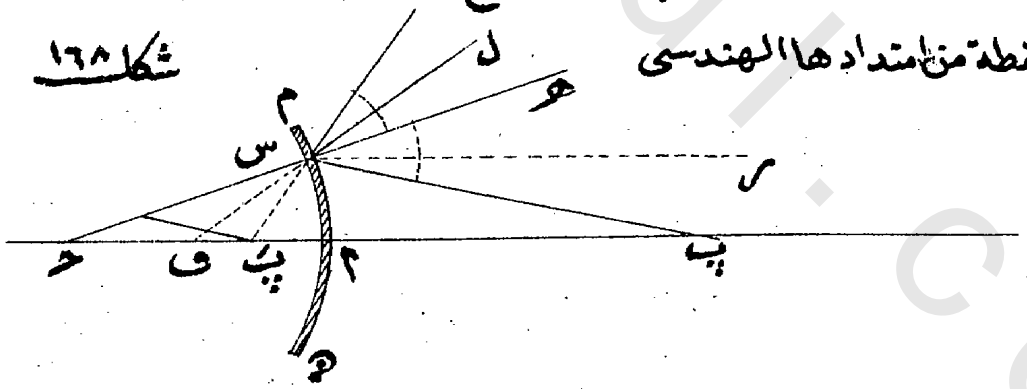
وهذا ناتج من مماثلة الكرة بالنسبة لكل من انصاف اقطارها

واذا كان بين المحور الجديد والمحور الأصلي للمرآة زاوية اكبر من عشر درجات أو ١٥ درجة لا تتجه الاشعة المنعكسة لنقطة واحدة وتصير الصور مختلطة كما في المرايا التي فتحتها كبيرة

الكلام على البورة في المرآة المحدبة

٢٥٦ عند الاشعة المنعكسة من المرآة المحدبة لا تتقاطع اصلا في نقطة من اتجاهها بل تتقاطع في نقطة من امتدادها الهندسي

شكل ١٦٨



فاذا اعتبر شعاع كالشعاع رس مثلا كما في (الشكل ١٦٨) موازيا لمحور المرآة اح فانه ينعكس في النقطة س على حسب اتجاه الخط س ل بحيث تكون زاوية الانعكاس ل س هـ مساوية لزاوية السقوط رس هـ وامتداده الهندسي يقطع الشعاع اح في النقطة ف التي هي وسطه وما حصل للشعاع رس يحصل

لجميع الاشعة التي تسقط على المرآة وتكون موازية لمحورها بحيث يمر اتجاه كل من هذه الاشعة المنعكسة بالنقطة ف وهذه النقطة هي البورة النقديرية الاصلية للمرآة

واذا اعتبرت نقطة پ موضوعة على بعد محدود كانت بورتها پ اقرب للمرآة من البورة ف ويزداد قربها من المرآة كلما قربت النقطة الضوئية منها

وحين لا تكون النقطة الضوئية على المحور الأصلي لا تكون بورتها عليه بل تكون على المستقيم المار بالنقطة الضوئية ومركز المرآة

الكلام على تكوين الصور في المرايا المقعرة

٥٥٧ لنعتبر ولأمر ما كالمرئي پ ك من (الشكل ١٦٩) موضوعاً خلف المركز ونبحث عن شكل الصورة التي تتكون منه فنقول — أن الاشعة التي تنبعث من النقطة پ تتجه بعد انعكاسها كما لو كانت منبعثة من النقطة پ فاذا وضع المبصر عينه على اتجاهها شاهد في پ صورة النقطة پ ويشاهد ايضاً صورة النقطة ك في النقطة كَ على المحور الثانوي كـ ح وتظهر صور النقط الاخرى موضوعة بين پ ، كَ فتتكون صورة المرئي في پ كَ وكلما كانت فتحة المرآة صغيرة وكان المرئي صغيراً كانت الصورة اوضح لكنها تكون مقلوبة وأصغر من المرئي وحين يكون المرئي مستنيراً يلزم لمشاهدة الصورة ان يضع الراصد بصره على اتجاه الاشعة المنعكسة واما اذا كان المرئي منيراً بذاته فانه يمكن مشاهدة صورته ايضاً باستقبالها على حائل من الورق او على جسم غير صقيل يوضع في البورة بان يضع الباصر بصره في وضع ما ثم ان الصورة المشاهدة بدون توسط حائل تسمى غالباً صورة هوائية

وحين يكون المرئي موضوعاً بين مركز المرآة وبورتها الاصلية تتكون صورته خلف المركز وتكون مقلوبة واكبر من المرئي كما يشاهد في (الشكل ١٦٩) الذي فيه پ كَ

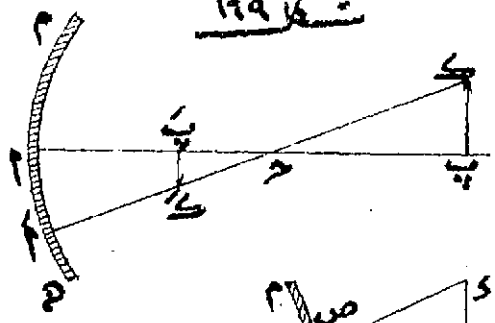
يمكن اعتبار المرئى , پ ك صورته

وحين يكون المرئى موضوعًا بين المرآة وبورتها الأصلية تكون صورته معتدلة واكبر منه وما هو مرسوم فى (الشكل ١٧٠) يوضح ذلك فان نقطة ب مثلًا تتكون صورتها فى پَ والنقطة ك تتكون صورتها فى النقطة كَ والنقط التى بين پ ك تتكون صورها بين نقطتى پَ كَ ولمشاهدة الصورة پَ كَ يلزم دائمًا ان يضع الراصد بصره على ابتجاه الاشعة المنعكسة ولا يمكن استقبالها على حائل غير صقيل كما اذا كان المرئى موضوعًا خلف البورة الاصلية

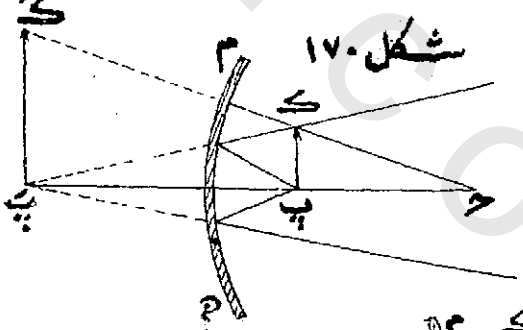
الكلام على تكوين الصور فى المرايا المحدبة

سند ٢٥٨ اذا وضع مرئى امام مرآة محدبة كانت صورته معتدلة واصغر منه ويلزم لمشاهدتها ان يضع الواصد عينه على ابتجاه الاشعة المنعكسة فاذا فرض ان المرئى موضوع فى پ ك كما فى (الشكل ١٧١) تكونت صورته فى پَ كَ وذلك لان النقطة ب تتكون صورتها فى پَ على المحور حـ ب والنقطة ك تتكون صورتها فى كَ على المحور حـ ك فترى الصورة فى پَ كَ

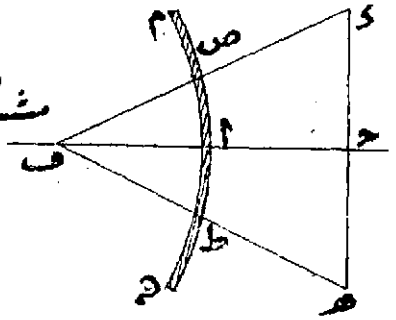
شكل ١٦٩



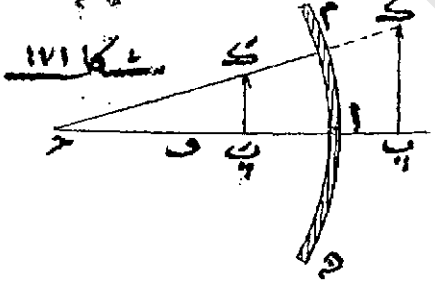
شكل ١٧٠



شكل ١٧٢



شكل ١٧١



الكلام على كيفية تعيين البورة الاصلية للمرايا بالتجربة

٥٩٣ لتعيين البورة الأصلية لمرآة مقعرة توضع مقابلة للشمس أو لجسم آخر مضيئ بعيد جدًا لكي يمكن اعتبار الاشعة الساقطة على المرآة متوازية ثم تستقبل الاسورة على حائل غير صقيل فتوجد البورة الأصلية في النقطة التي تكون فيها الصورة اصغر واوضح

وحين تكون المرآة محدبة يغشى سطحها بطبقة من الورق بان يجعل فيه ثقبان ص ، ط كما في (الشكل ١٧٠) على بعد واحد من المحور الاصلي بشرط ان يكون البعد بينهما صغيرًا جدًا لكي ينطبق المستقيم ص ط على القوس ص ا ط ثم توضع المرآة مقابلة للشمس وتستقبل الاشعة المنعكسة على مقوى مثقوبة تُبعَّد حتى يصير البعد وهو ضعف البعد ص ط فحينئذٍ يكون البعد ح ا مساويًا للبعد البؤري ا ف ثم أن الحرارة تجتمع في بورة المرآة المقعرة كما يجتمع الضوء فيها فاذا عرضت المرآة للاشعة الشمسية كانت الحرارة المجتمعة في البورة شديدة بحيث تُلهب الخشب وتذيب اغلب الأجسام المعدنية وأما المرآة المحدبة فانها لا تجمع الضوء ولا الحرارة

الكلام على الحسابات المتعلقة بتعيين البور

٥٩٤ قد ظهر من الاعمال الهندسية التي تقدمت ان وضع البور متعلق بوضع النقط الضوئية وان مقادير الصور بتغير بتغير بعد المرئيات عن المرآة غير انها لا تكفي لتعيين وضع البور ومقادير الصور بالضبط وأما الحساب الجبري فلا بد منه في تعيين ما ذكر ولنعتبر اولًا مرآة كروية مقعرة كالمرآة م ا ج من (شكل ١٦٦) ونفرض ان النقطة الضوئية موضوعة في پ خلف المركز وان پ س أحد الاشعة الساقطة و س پ الشعاع المنعكس ، و س العمودي في نقطة السقوط اي نصف قطر الكرة

وأن

وأن ا ب = ب ، ا ب' = ب' ، ا ح = ء ف

ونبحث عن الارتباط الكائن بين الكميات ب ، ب' ، ف فنقول

حيث ان الزاوية ب س ب' مقسومة الى جزئين متساويين بالمستقيم س ح

يكون ب ح : ب' ح :: ب س : ب' س

وحيث ان الخط ب س مساوٍ للخط ب ا والخط ب' س مساوٍ للخط

ب' ا بفرض أن فتحة المرآة صغيرة جدًا بالنسبة لبعد النقطة الضوئية

يكون ب ح : ب' ح :: ب ا : ب' ا

وبادخال الكميات ب ، ب' ، ف في هذه المتناسبة

تصير ب - ء ف : ء ف - ب' :: ب : ب'

أو ب' ف + ب ف = ب ب'

وهو قانون يعرف به موضع البورة بعد معرفة موضع النقطة الضوئية ونصف

قطر المرآة

ولاجل حفظ القانون المذكور بالسهولة يقسم طرفاه على ب × ب' × ف فيصير

$$\frac{1}{ب} + \frac{1}{ب'} = \frac{1}{ف} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

وهذا القانون يبين انه كلما نقصت كمية ب زادت كمية ب' أي انه كلما

قربت النقطة الضوئية من المرآة بعدت البورة عنها واذا فرض فيه أن

ب = ∞ صار ب' = ف واذا فرض فيه أن ب = ء ف صار ب' = ف

أعني ان البورة تكون في وسط نصف قطر المرآة حين يكون بعد النقطة الضوئية

غير متناه وانها تكون في المركز حين تكون النقطة الضوئية فيه

ثم أن القانون المذكور يستعمل ايضًا في الحالة التي تكون فيها النقطة الضوئية موضوعة

بين مركز المرآة وبورتها الأصلية

ولنعتبر ايضاً مرآة مقعرة ونفرض أن النقطة الضوئية موضوعة خلف البورة ولتكن پ النقطة الضوئية كما في (الشكل ١٦٧) ، پ س أحد الأشعة الساقطة ، ب البورة التشيرية فاذا رمزنا بالحرف ف للخط ا ب وبالحرف ك للخط ا پ وبالرمز ء ف للخط ا ح وعددنا پ د موازياً للخط پ س نجد پ ح : پ ح :: پ س : پ د وحيث أن المثلث پ س د متساوي الساقين لان الزاوية پ س د تساوي زاوية السقوط والزاوية پ د س تساوي زاوية الانعكاس يكون پ د = پ س والمتناسبة السابقة تصير پ ح : پ ح :: پ س : پ س أو پ ح : پ ح :: پ ا : پ ا تقريباً وباد خال الكميات ب ، ك ، ء ف في هذه المتناسبة تصير

ء ف + ك : ء ف − ب :: ك : ب

أو ك ف − ب ف = ب ك

ومن هذه المعادلة يستخرج

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{ك} = \frac{1}{ف} \quad \ldots\ldots (٢)$$

وهذا القانون يبين ان البورة تقرب من المرآة كلما قربت النقطة الضوئية منها وان البورة تقطع بعداً غير متناه اذا قطعت النقطة الضوئية ربع قطر المرآة ويعلم منه ايضاً موضع البورة بعد معرفة موضع النقطة الضوئية ونصف قطر الكرة

ولنعتبر الآن مرآة محدبة ونرمز بالحرف پ للنقطة الضوئية كما في (الشكل ١٦٨) وبالحرف پ لبورتها وبالحرف ح لمركز الكرة وبالحرف ب للبعد ا پ وبالحرف ك للبعد ا پ وبالرمز ء ف للبعد ا ح فاذا عددنا الخط پ د موازياً للخط پ س نجد كما سبق پ ح : پ ح :: پ س : پ د

أو پ ح : پ ح :: پ س : پ س فاذا عوضت النسبة الثانية التي هي

پ س

پ س : پَ س بهذه النسبة پ ا : پَ ا وادخلت فيه الكميات ب، بَ، ف صار

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{بَ} = \frac{1}{ف} \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

ويعلم من هذا القانون أن البورة تقرب من المرآة كلما قربت النقطة الضوئية منها وانها لاتقطع الاربع القطر حين تقطع النقطة الضوئية بعداً غير متناهٍ

الكلام على الحسابات المتعلقة بتعيين الصور

٦٩ اذا اعتبر خط مستقيم مضيئ كالخط پ ك من (الشكل ١٦٩) موضوع خلف مركز مرآة مقعرة تكونت صورته پَ كَ بين المركز والبورة الأصلية وكانت خطاً مستقيماً موازياً له اذا لم يكن المرئي اطول من ٦ أو ٧ سنتيمترات وحينئذٍ يكون المثلث پَ كَ هـ مشابهاً للمثلث پ ك هـ ومن تشابههما يحدث

$$\frac{پَ كَ}{پ ك} = \frac{پَ هـ}{پ هـ} = \frac{ف - ب}{ب - ف}$$

فاذا استخرجت الكمية ب من القانون (١) ووضع مقدارها في هذا القانون يحدث

$$\frac{پَ كَ}{پ ك} = \frac{ف}{ب - ف}$$

وهي النسبة الكائنة بين مقدار الصورة ومقدار المرئي وهذا القانون يستعمل ايضاً فيما اذا كان المرئي موضوعاً بين المركز والبورة الأصلية

واذا فرض فيه ب < ٢ ف نتج منه ب - ف < ف

وعليه يكون پَ كَ < پ ك

واذا كانت الكمية ب < ٢ ف نتج منه ب - ف < ف

وعليه يكون پَ گ > پ ك

واذا اعتبر مرئي مستقيم كالمرئي پ ك من (الشكل ١٧٠) موضوع خلف البورة الأصلية لمرآة مقعرة فصورته تتكون في پَ كَ وحينئذٍ يكون

$$\frac{\text{پ ك}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{پ ح}}{\text{پ ح}} = \frac{\text{ع ف + ت}}{\text{ع ف - ت}}$$

وبابدال الكمية ت بمقدارها المستخرج من القانون (٢) يصير

$$\frac{\text{پ ك}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{ف}}{\text{ف - ت}}$$

وحيث أن الكمية ف > ف - ت دائماً تكون الصورة ت ك أكبر من المرئى ب ك دائماً

واذا اعتبر مرئى مستقيم كالمرئى پ ك من (الشكل ١٧١) موضوع امام مرآة محدبة فصورته تتكون فى پ ك وحينئذ يكون

$$\frac{\text{پ ك}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{پ ح}}{\text{پ ح}} = \frac{\text{ع ف - ت}}{\text{ع ف + ت}}$$

فاذا ابدلت الكمية ت بمقدارها المستخرج من القانون (٣)

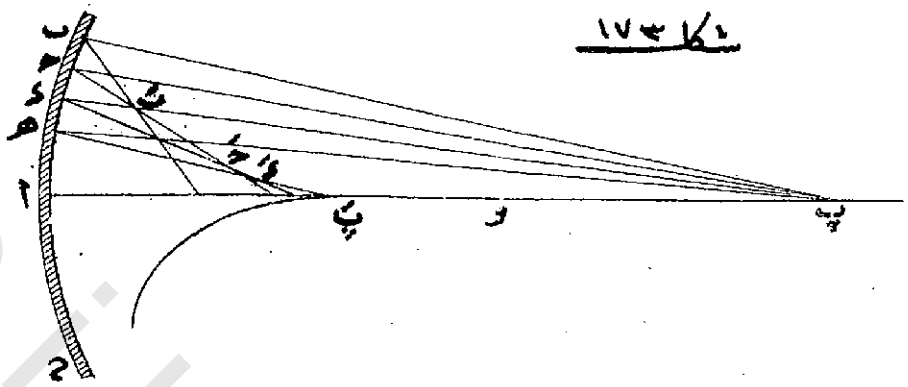
يصير $$\frac{\text{پ ك}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{ف}}{\text{ت + ف}}$$

ومن هذا القانون يعلم ان الصورة تكون دائماً اصغر من المرئى لان الكمية ف دائماً أصغر من الكمية ت + ف

الكلام على الكوسيناك الحادث من الانعكاس

ينشأ الاشعة المنعكسة من مرآة مقعرة لا تتجه كلها نحو نقطة واحدة بل اغلبها لا يتقاطع اصلا غير انه اذا اعتبرت الاشعة المنحصرة فى قطع جانبى أعنى فى قطع مار بالمحور الاصلى للمرآة فانها دائماً تتقاطع مثنى ويتولد من النقط المتتابعة الحادثة من تقاطعها خط منحن منتظم ويمكن تصور شكله بان نعد جملة اشعة مثل پ ب ، پ ح ، پ د ..... الخ كما فى (الشكل ١٧٣) متقاربة جدا ثم نرسم الاشعة المنعكسة ب ت ، ح ح ، د د ..... الخ المطابقة لتلك الاشعة ثم توصل بعض النقط ت ، ح ، د ..... الخ التى تتقاطع فيها الاشعة المنعكسة المتتابعة لكن لا يمكن تصور شكله المضبوط بدون مساعدة الحساب

شكل ١٧٣



ويتولد فى كل قطع جانبى من المرآة منحنى شابه للمنحنى المذكور والسطح المتولد من دوران احد هذه المنحنيات حول الخط اپ يسمى السطح الكوستيكى او الكوستيك ورأس هذا السطح هى النقطة التى تكون فيها صورة النقطة الضوئية اَزْهَى لانها فى تقاطع عدد عظيم من الاشعة المنعكسة

واذا اعتبرت الاشعة التى تسقط على قطع من المرآة عمودى على محورها الاصلى فانها تنعكس بحيث تمر كلها بنقطة واحدة من المحور المذكور ويتغير موضع هذه النقطة بتغير موضع القطع العاكس فعلى هذا يمكن اعتبار محور المرآة كانه محل تقاطعات الاشعة المنعكسة من القطوع العمودية عليه

وما قيل فى السطوح الكروية يقال ايضاً فى السطوح التركيبة بل وفى جميع السطوح العاكسة

الدرس الرابع والاربعون

الكلام على انكسار الضوء

تنبيه متى سقط الضوء من الفراغ على جسم شفاف أو من جسم شفاف الى جسم شفاف يخالفه فى الكثافة زاغ عن سيره الذى كان على خط مستقيم وهذا الزوغان هو المسمى بالانكسار والجو كالاجسام الشفافة موجب لانكسار الضوء فتى مر الضوء فيه تغير اتجاهه كالومر

من الهواء الى الماء أو من الماء الى الزجاج ونحو ذلك ثم ان كان مرور الضوء من وسط قليل الكثافة الى وسط اكثف منه كان سيره على خط مستقيم قريب من الخط العمودى اعنى ان زاوية سقوطه تكون اكبر من زاوية انكساره وزاوية السقوط هنا هى الزاوية المتكونة من الشعاع الساقط ومن الخط المقام من نقطة السقوط عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين وزاوية الانكسار هى الزاوية المتكونة من الشعاع المنكسر ومن الخط العمودى المذكور واما اذا كان مرور الضوء من وسط كثير الكثافة الى قليلها فانه يبعد عن الخط العمودى وليس ما ذكرناه عاماً فى جميع الأجسام وانما العام ان يقال ان الوسط ا أشد كسراً للضوء من الوسط ب إذا قرب الشعاع الضوئى من الخط العمودى بمروره من الوسط ب الى الوسط ا وأن الوسط ا أقل كسراً له من الوسط ب اذا بعد الشعاع عن الخط العمودى وانه مثله فى الكسر ان استمر الشعاع على سيره بدون زوغان

الكلام على قوانين الانكسار

٢٦٤ انكسار اشعة الضوء يكون بقانونين الأول أن جيب زاوية الانكسار نسبة جيب زاوية السقوط والثانى ان الشعاع الساقط والشعاع المنكسر يوجدان فى مستو واحد عمودى على السطح الفاصل بين الوسطين وهذان القانونان يتحققان بالتجربة اما الاول فيتحقق بواسطة ماعون من زجاج ا م ب على شكل نصف كرة مثبت فيه دائرة رأسية مقسومة الى اجزاء متساوية كما فى (الشكل ١٧٤) فيصب فى الماعون ما الى المركز ثم يدخل ضغثاً ضوئياً رح فى اتجاه أحد اقطار الدائرة ويعين مقدار درج زاوية السقوط رحـ وكذا زاوية الانكسار سحـ م ويقسم جيب الاولى على جيب الثانية ثم يغير اتجاه الشعاع الساقط فتتغير زاوية السقوط وزاوية الانكسار ثم يعين جيب الاولى ويقسم على جيب الثانية فتوجد النسبة بين هذين الجيبين مساوية للنسبة الاولى ولا تزال

النسبة كذلك اذا كررت هذه العملية فى اى شعاع ساقط بأى زاوية كانت وأما القانون الثانى فيتحقق ايضاً بواسطة هذا الجهاز لان الشعاع الساقط والشعاع المنكسر موجودان فى مستوى الدائرة المذكورة

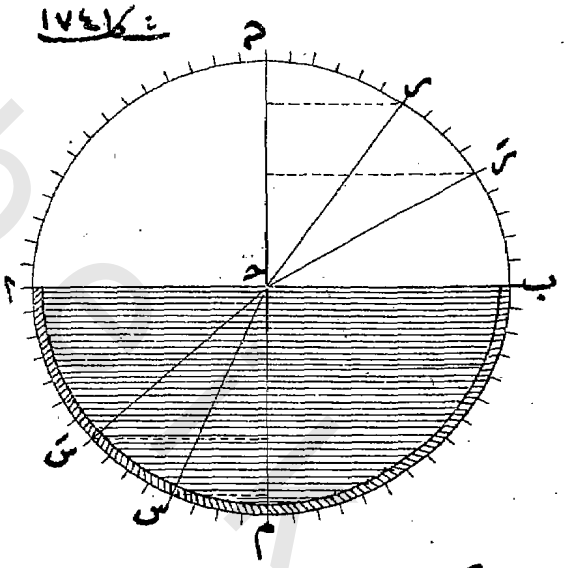
والنسبة التى بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار تسمى غالباً بنسبة الانكسار أو دليل الانكسار وهى ثابتة بثبات الاحوال التى تغيرها فاذا مر الضوء من الهواء الى الزجاج كان دليل الانكسار $\frac{٣}{٢}$ واذا مر من الهواء الى الماء كان دليل الانكسار $\frac{٤}{٣}$ اذا علم دليل الانكسار الخاص بوسطين سهل تعيين الاتجاه الذى يأخذه الشعاع الضوئى بمروره من احدهما الى الآخر فاذا رمز بالحرف ه لزاوية السقوط وبالحرف ر لزاوية الانكسار وبالحرف ل لدليل الانكسار حدث

$$\frac{\text{جا ه}}{\text{جا ر}} = \text{ل} \quad , \quad \text{جا ر} = \frac{١}{\text{ل}} \text{ جا ه}$$

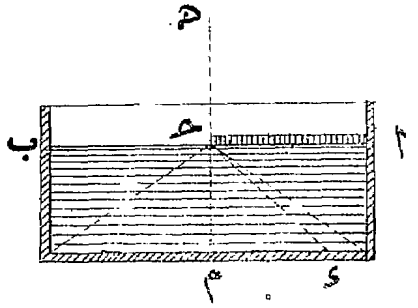
من هذه المعادلة يعرف مقدار زاوية الانكسار واتجاه الشعاع المنكسر ويعلم منها ايضاً أن زاوية الانكسار تتزايد بتزايد زاوية السقوط واذا فرض فى المعادلة المذكورة أن ه = ٠ نتج منها ر = ٠ أعنى أن الشعاع العمودى على السطح الفاصل بين الوسطين لا يزوغ عن اتجاه سيره الاول واذا فرض فيها أن ه = ٩٠ درجة نتج منها جا ر = $\frac{١}{\text{ل}}$ أعنى أن زاوية الانكسار لا يمكن ان تزداد الى ٩٠ درجة كزاوية السقوط وزاوية الانكسار الناتجة من هذه المعادلة تسمى زاوية الحد لانها اكبر زاوية تحدث بين الشعاع المنكسر والخط العمودى المقام من نقطة السقوط فاذا مر الضوء من الهواء الى الماء كانت زاوية الحد ٤٨ ,٣٥ درجة واذا مر من الهواء الى الزجاج كانت زاوية الحد ٤١ ,٥٠ درجة فينتج من هذا انه اذا كان ا ب مستوى ماء وايقم عليه العمود م ح من أى نقطة من نقطه كالنقطة ح مثلاً ومد المستقيم ح د مائلاً على العمود ح م بزاوية مساوية لزاوية الحد أى ٤٨ ,٣٥ درجة

انكسر أى شعاع من الاشعة الضوئية الواقعة فى الزاوية ح ا ب وصار اتجاهه داخلا فى الزاوية الحادة د ح م ولا يدخل أحد هذه الاشعة فى الزاوية د ح ا (كما فى الشكل ١٧٥)

شكل ١٧٤



شكل ١٧٥



الكلام على الانعكاس الكلى الداخلى

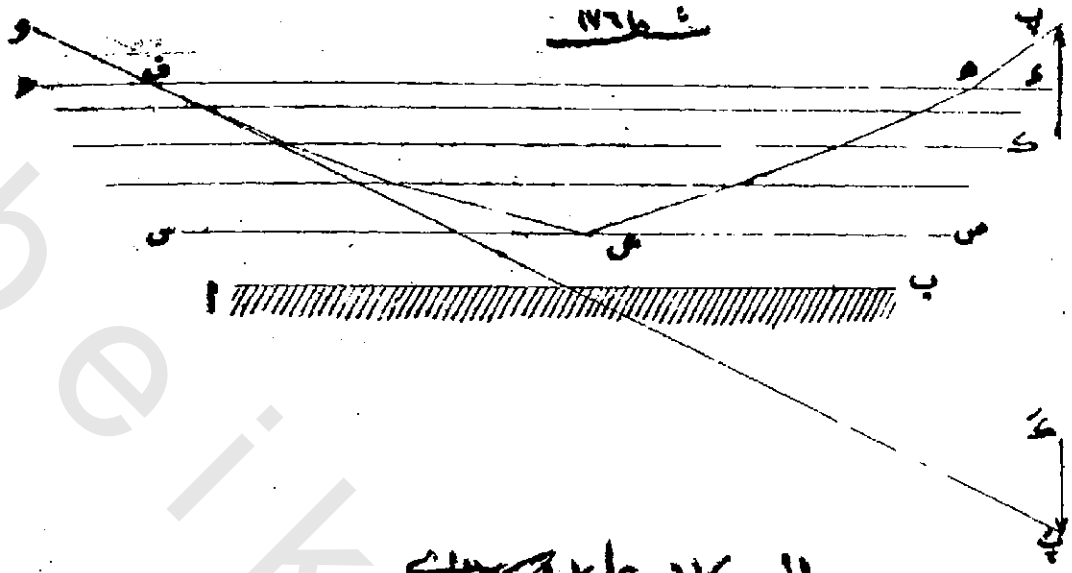
بند ٢٦٦ قد ذكرنا انه متى مر الضوء من وسط كثيف كالزجاج الى وسط آخر اقل كثافة منه كالهواء كانت زاوية الانكسار اكبر من زاوية السقوط وكلما كبرت زاوية السقوط كبرت زاوية الانكسار فاذا صارت زاوية الانكسار قائمة قيل لزاوية السقوط المطابقة لها زاوية الحد وكل شعاع ساقط بزاوية اكبر منها لا ينكسر بل ينعكس فى المادة الآتى هو منها وهذا الانعكاس هو المسمى بالانعكاس الكلى الداخلى

الكلام على السراب

بند ٢٦٧ السراب ظاهرة بصرية حاصلة من انعكاس الاشعة الضوئية وانكسارها معا فان المرئيات اذا بصرت من بعد كاف لابصارها شوهدت صورها اما معتدلة او مائلة او منقلبة وحوالى تلك الصور دائما تكون مغايرة لها اما يسيرا او كثيرا وهذه الظاهرة كثيرا ما تشاهد فى قفار الديار المصرية أيام الحر اذا كان الجو صافيا شفافا والهواء ساكنا فيتهيأ للناظر من بعد ان امامه بركة ماء واسعة وسبب ذلك انه اذا اشتدت سخونة الرمل

من حر

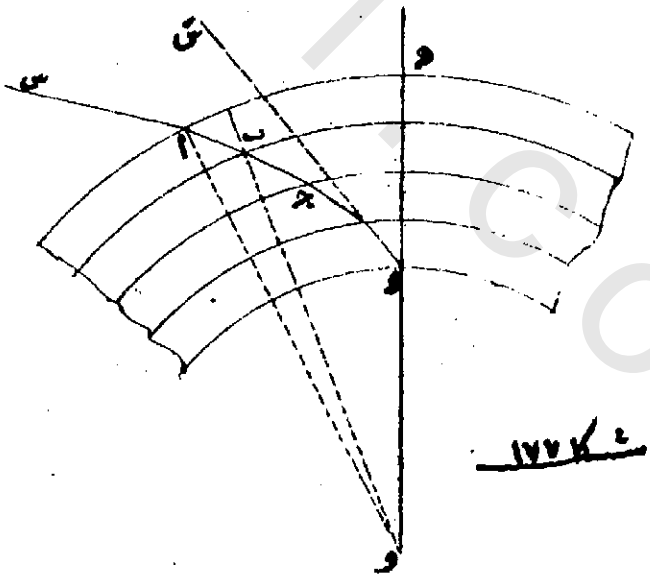
من حر الشمس سخنت الطبقة السفلى من الهواء التى تلى الارض فيحدث فيها حركات تموجية تظهر للبصر وتصير حوافى صور المرئيات غير مشابهة لها ويلزم من سخونة تلك الطبقة تخلخلها وصعود جزء منها الى ما فوقها من الطبقات فتكون تلك الطبقات اكثف من التى تحتها ويكون هواء البقعة التى سخنت بعيدا عن موقعه الطبيعى من الارض فبوصول الضوء الى ذلك الهواء الكثيف وخروجه عنه ينكسر فتتخيل المرئى للرائى بصورة جديدة اعنى انه يظهر له ان جزأ منه مستقر فى موضعه والواقع ليس كذلك وما هو مرسوم فى الشكل ١٧٦ يوضح ذلك فان فيه ا ب سطح الارض وحـ ء طبقة الهواء الاكثف من غيرها ف پ ك مرئى ما موضوع فوق هذه الطبقة فاذا كان پ هـ شعاعا ما ئلا خارجا من النقطة پ التى هى لمدى نقط المرئى فهذا الشعاع يمرون من الطبقة حـ ء الى الطبقة التالية لها الموضوعة تحتها ينكسر ويبعد عن العمود المقام من نقطة السقوط وبمروره من هذه الطبقة الثانية الى الطبقة التالية لها يبعد ايضا عن العمود وبمروه من الطبقة الثالثة الى الرابعة يبعد كذلك عن العمود وهكذا ومن حيث ان كثافات هذه الطبقات متناقصة فلا بد أن يصل الشعاع الى طبقة س ص لا يكون فيها الانكسار ممكنا ومتى وصل اليها انعكس انعكاسا كليا فيمر بالطبقات التى مر بها اولا ويمرون بها بتعدد انكسار فاذا وضع الراصد عينه على ق و الذى هو اتجاه الشعاع البازغ شاهد النقطة ب على نقطة من اتجاه الشعاع ف و فى النقطة پ فوضع مماثل تقريبا للنقطة پ بالنسبة للطبقة س ص التى حصل عليها الانعكاس الكلى لان اتجاهات الاشعة المنعكسة تمر بهذه النقطة والراصد يشاهد أيضا صورة النقطة ك فى ك فيتراءى له المرئى ب ك مقلوبا فى ب ك



شكل ١٧٦

الكلام على الانكسار الجوى

٩٦٨ اعلم انه لا يمكننا ان نشاهد كوكبا في حيزه الحقيقي وذلك انه قبل شروقه وبعيد غروبه يشاهد مرتفعا فوق الافق اكثر من ارتفاعه الحقيقي وما ذاك الا من انكسار الضوء المرور به بطبقات الهواء المختلفة الكثافة ولبيان ذلك نفرض ان الجو منقسم الى طبقات مركزها المشترك مركز الارض كما في الشكل ١٧٧



شكل ١٧٧

وأن سمك كل من هذه الطبقات صغير جدا لكي يمكن اعتبار كثافة الهواء ثابتة في الطبقة الواحدة منها فاذا كان س ا اتجاه أحد الاشعة الضوئية الآتية من كوكب الى الجو فهذا الشعاع يصل الى النقطة ا من الطبقة الاولى ينوع عن مسيره الاول ويقرب

من الخط العمودى و لانه مار من وسط الى آخر اشد كثرا منه فيصير اتجاهه اب و ب
الى النقطة ء من الطبقة الثانية يزوغ ايضا ويقرب من الخط العمودى وبه فيصير
اتجاهه ء د ويوصله الى الطبقة الثالثة يزوغ عن اتجاهه ويقرب من الخط العمودى
المار بنقطة سقوطه فى الطبقة المذكورة فيتعدد انكسار الشعاع بتعدد طبقات الهوآء
ويتكون من اتجاهات الشعاع خط منحن مقعره جهة الارض وحيث اننا نشاهد المرئيات
دائما على اتجاه الاشعة الواصلة لاعيننا فالعين الموضوعة فى ء على سطح الارض تشاهد
الكوكب على ء س الذى هو اتجاه الجزء الاخير من المنحنى الذى قطعه الضوء وقد علم
بالتجربة والحساب ان الزوغان الاكبر الذى يحدث فوق الافق يساوى ثلاثا وثلاثين
دقيقة (٣٣) وانه بتناقص حتى يصل الى الصفر فينعدم وبسبب هذا الانكسار تظهر
لنا الشمس والكواكب فوق الافق حين تكون تحته فاذا وصلت الشمس الى مستوى تحت
الافق بعيدا عنه بمقدار ٣٣ ظهرت لنا فوق الافق

فى انكسار الضوء فى الاوساط المحدودة بسطوح مستوية

الكلام على انكسار الضوء المار من وسط غير محدود
الى اخر كذلك

٢٦٩ بند المرئيات الموضوعة فى وسط مخالف للوسط الكائن به الراصد لا تظهر له فى محلها
الحقيقى بل تظهر قريبة من السطح الفاصل بين الوسطين اذا كانت فى الوسط الاشد كثرا
وتظهر بعيدة عن السطح المذكور اذا كانت فى الوسط الاقل كثرا وليكن س ص السطح
الفاصل بين الوسطين كما فى (الشكل ١٧٨) ف نقطة من المرئى المفروض انه
فى الوسط الاشد كثرا فالشعاع العمودى ب ا دون غيره لا يزوغ عن سيره بمروره
من احد الوسطين الى الآخر وجميع الاشعة المائلة تزوغ زوغانا يختلف قلة وكثرة ببعدها

من الخط العمودى الممتد من نقطة السقوط فالشعاع ب ب مثلاً يأخذ الاتجاه ب هـ والشعاع ب هـ يأخذ الاتجاه هـ ف والعين تشاهد صورة النقطة ب فى النقطة ب التى هى تقاطع امتداد عكس الشعاعين ب هـ , هـ ف فان كان ميل الاشعة الساقطة قليلاً تكون النقطة ب على العمود ب ا وصارت مرتفعة عن النقطة المنويّة وان كان ميل الأشعة الساقطة كبيراً لا تتقاطع الاشعة المنكسرة على العمود ا ب بل تتقاطع فى نقط بعد كل منها عن السطح الفاصل أقل من بعد النقطة المنويّة عنه وبسبب هذا الانكسار يظهر عمق جسم مائع أصغر من مقداره الحقيقى لان نقط القعر تظهر مرتفعة بفعل الانكسار وكذا اذا غمست عصاة وغمس جزء منها فى الماء ظهرت منكسرة وسبب ذلك أن النقط الموضوعة خارج الماء تبقى فى حيزها بخلاف النقط الأخر فانها تظهر مرتفعة قريبة من سطحه وما ذاك الا من انكسار الأشعة بمرورها من الماء الى الهواء

ويسهل بالحساب معرفة موضع النقطة التى يتقاطع فيها الشعاع المنكسر بالخط الممتد من النقطة المنويّة عموداً على السطح الفاصل بين الوسطين وليكن ب ب شعاع ساقط , ب ب امتداد الشعاع المنكسر فاذا جعل ا ب = ن , ا ب = ب , ا ب = ك حدث

$$\text{جا ا ب ب} = \frac{\text{ب ب}}{\text{ب ب}} = \frac{\text{ك}}{\sqrt{\text{ك}^2 + \text{ن}^2}}$$

$$\text{و جا ر} = \text{جا ب ب هـ} = \frac{\text{ب ب}}{\text{ب ب}} = \frac{\text{ك}}{\sqrt{\text{ك}^2 + \text{ك}^2}}$$

وحيث أن جا ا = ل جا ر فاذا ابدل كل من جا ا , جا ر بمقداره ورُبّع واستخرجت الكمية ب حدث

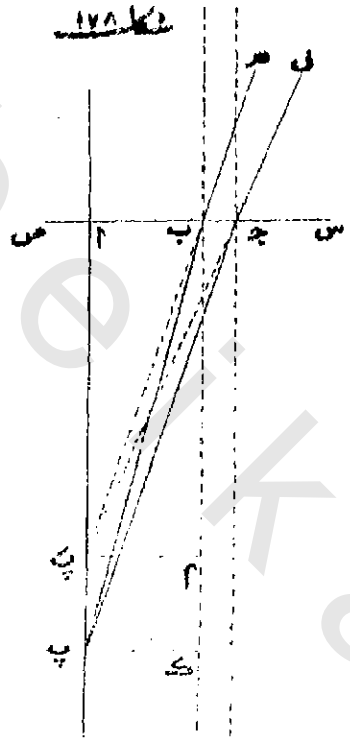
$$\text{ل}^2 \text{ك}^2 = \text{ك}^2 - (\text{ل}^2 - 1)\text{ك}^2$$

ويعلم من هذا القانون أن مقدار ب ينقص حين يزداد مقدار ك أعنى حين تكون نقطة سقوط الشعاع بعيده عن الخط العمودى على السطح الفاصل بين الوسطين

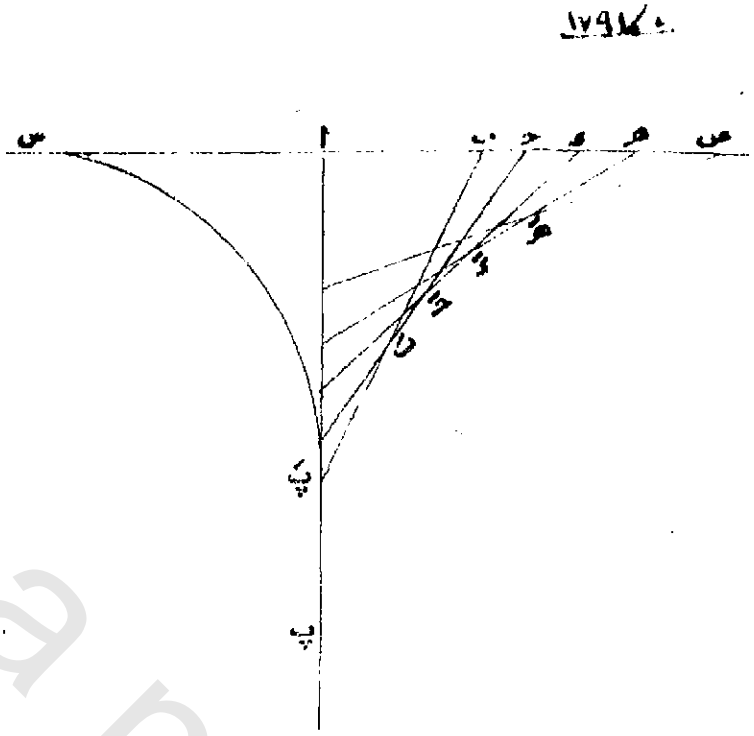
وان الرطوبات

وان المرئيات ترى مرتفعة كلما نظرت بأشعة كبيرة الميل

شكل ١٧٨



شكل ١٧٩



ونتيجة من القانون المتقدم ان الاشعة المنكسرة الموضوعة في المستوى پ ا ص من (شكل ١٧٩) لا تقطع العمود اپ المقام على سطح المائع في نقطة واحدة ويَنْبَغِي على ذلك انه يتكون من نقط تقاطعها المتوالية خط كوستيكي انكاري يمكن تصوره بشكله بأن تعد جملة أشعة متقاربة بالكفاية مثل پ ب ، پ ح ، پ ء ..... ثم تعين النقط ت ، ح ، ء .... الخ التي تتقاطع فيها الاشعة المنكسرة پ ب ، ح ، ء ء .... الخ ثم يمر بهذه النقط خط منحن لكن لا يمكن معرفة شكله بالضبط الا بالحساب واذا دار هذا المنحنى حول المحور اپ رسم بدورانه سطحا كوستيكيا والنقطة پ الموضوعة بشعاع ما تل كثيرا أو قليلا على السطح المائع نشاهد دائما في نقطة تماس السطح الكوستيكي بالمستقيم المار بالعين

واذا كانت الاشعة الساقطة تكاد ان تكون عمودية على سطح المائع امكن حذف النكتة ك

لصغرها بالنسبة للكبيرة ب وحينئذ يصير القانون المتقدم هكذا ك ت = ت أ أو
ك ت = ب وقد يتوصل الى مثل هذا القانون اذا كان الجسم المضيء وضوءاً في الوسط
الاقل كثافة وكان الراصد في الوسط الآخر وحينئذ يوجد ت = ك ب بالرمز بالحرف
ب لبعد المرئي من السطح الفاصل بين الوسطين وبالحرف ت لبعد الصورة عن السطح
المذكور وبالحرف ك لدليل انكسار الضوء بمروره من الوسط الكثيف الى الوسط اللطيف

الكلام على انكسار الضوء بمروره من الاوساط

المحدودة بسطوح متوازية

ينتج من انفوذ الضوء بوسط محدود بسطحين متوازيين كان زوغانه بنفوذه من
السطح الاول معادلاً لزوغانه بنفوذه من السطح الثاني وكان الشعاع البازغ موازياً
للشعاع الساقط ولايضاح ذلك انفرض س ا شعاعاً ساقطاً كما في (الشكل ١٨٠)
و س الشعاع البازغ و ا ب اتجاه الشعاع وهو داخل الوسط وأن ب
زاوية السقوط و ب ز زاوية الانكسار و ه زاوية البزوغ فيكون

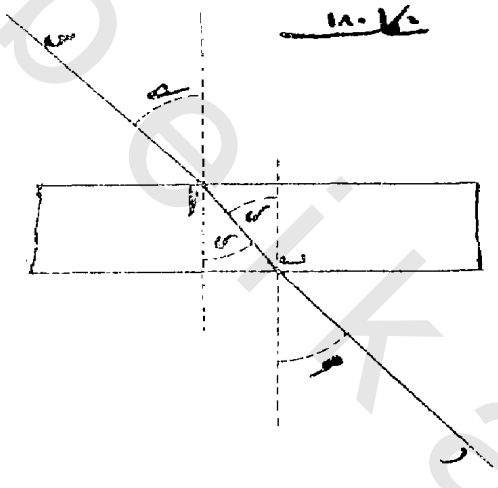
جا ب = ك جا ز ، جا ه = ك جا ز

ومنهما ينتج أن جا ه = جا ب وأن ه = ب

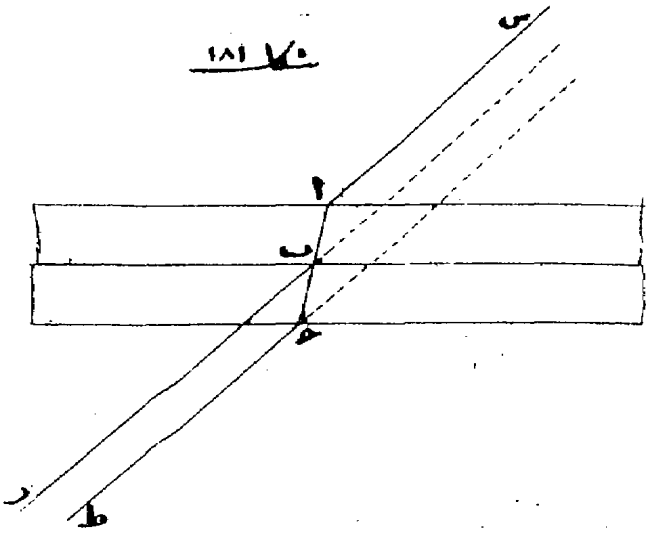
ومن هنا يعلم انه اذا وضعت جملة اوساط محدودة بسطوح متوازية كانت الاشعة
البازغة موازية للاشعة الساقطة وينتج من ذلك أن المرئيات المشاهدة خلف زجاجة
محدودة بسطحين متوازيين تظهر في حيزها الحقيقي اذا كان سمك الزجاجة صغيراً جداً
لان نقطة البزوغ ه في هذه الحالة تكون قريبة جداً من نقطة السقوط ا كما في
(الشكل ١٨١) فلا مانع بعد ذلك من انطباق الشعاع البازغ على استقامة الشعاع الساقط

واذا كان سمك الزجاجة كبيرًا صارت نقطة البزوغ ح بعيدة عن نقطة السقوط ا ولا يزال الشعاع البازغ موازيًا للشعاع الساقط لكنه بعيدًا عنه فلا يشاهد المرئى فى حيزه الحقيقى وفى جميع هذه الحالات يكون شكل الصورة كشكل المرئى ومقدارها كمقداره

شكل ١٨٠



شكل ١٨١



دعوى نظرية

اذا رمز بالحرف ل لدليل انكسار الضوء بمروره من الفراغ الى وسط شفاف ورمز له بالحرف ا ورمز بالحرف لَ لدليل انكساره بمروره من الفراغ الى وسط آخر شفاف ورمز له بالحرف أَ كان دليل انكسار الضوء بمروره من الوسط ا الى الوسط أَ مساويًا لخارج قسمة الدليل الثانى على الاول أى يساوى $\frac{لَ}{ل}$

وبيان ذلك ان يقال انه اذا مد السطحان م ح , س ص موازيين للسطح ج د الفاصل بين الوسطين كما فى (الشكل ١٨٠) ولوحظ أن الشعاع البازغ ب ر موازٍ للشعاع الساقط س ا حدث

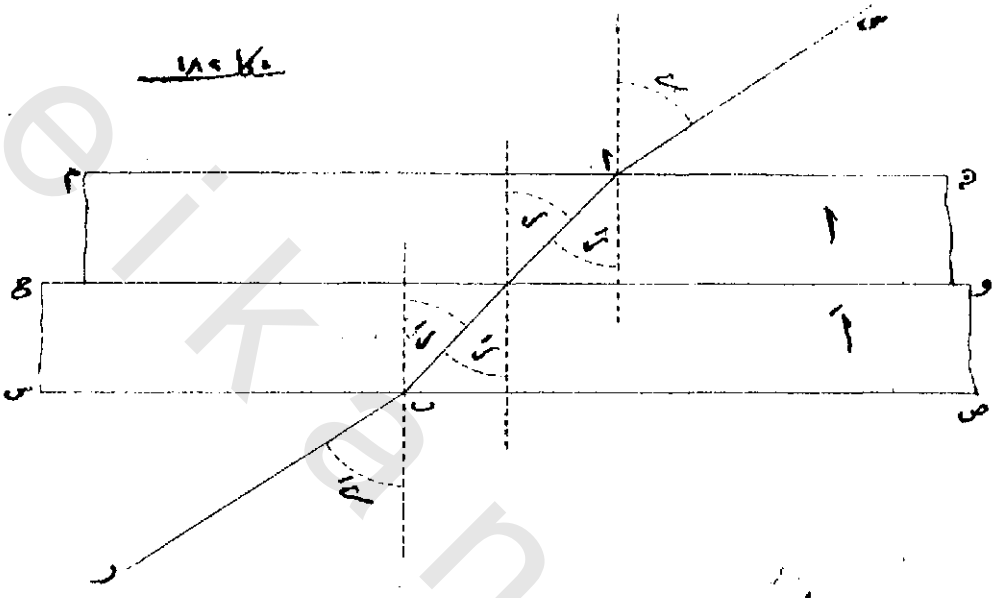
$$\text{جا} \, \text{ح} = \text{ل} \, \text{جا} \, \text{ا} \quad , \quad \text{جا} \, \text{ص} = \text{لَ} \, \text{جا} \, \text{ا}$$

ومنها ينتج أن $\frac{\text{جا ا}}{\text{جا ا}} = \frac{\text{لَ}}{\text{ل}}$

ويعلم من هذا القانون انه اذا مر الضوء من وسط شفاف الى وسط شفاف يخالفه فى الكثافة

كان دليل انكساره بمروره من الوسط الاول الى الثاني مساويًا للنسبة العكسية بين دليل انكساره بمروره من الفراغ الى الوسط الثاني ودليل انكساره بمروره من الفراغ الى الوسط الاول وهذه النظرية لا تزال صحيحة كائنة ماكانت السطوح المحدودة بها الاوساط والسطوح الفاصلة بينها

شكل ١٨٩



في انكسار الضوء بمروره من الاوساط المحدودة بسطوح منحرفة

الكلام على المنشور

سند ٧١ المستعمل غالبًا في التجاريب المختصة بفن الابصار هو المنشور المثلثي المتخذ من البلور والزاوية المكسرة من المنشور هي الحادثة بين الوجهين اللذين يمر بهما الضوء بدخوله فيه وخروجه منه وقمته هي خط تقاطع الوجهين المذكورين وقاعدته الوجه المقابل لقمته وقطوعه الأصلية هي المقطوع الحادثة من مستويات عمودية على خط التقاطع المذكور

فاذا وضع الراصد عينه بالقرب من المنشور شاهد المرئيات زائغة عن موضعها زوغانًا كثيرًا ذات حوافٍ ملونة بالوان قوس قزح ثم ان كان المنشور افقيًا وكانت قمته من اعلى ظهرت له المرئيات مرتفعة واما اذا كان افقيًا وقمته من اسفل ظهرت له منخفضة

والزوغان يكون دائماً في مستوى عمودي على اضلاع المنشور وتظهر المرئيات قريبة من قمة نسواء كان المنشور افقياً أو رأسياً أو منحرفاً وتتضح هذه الحوادث بوضع المنشور في خزانة مظلمة على اتجاه حزمة صغيرة من الاشعة الشمسية فان صورة الشمس المتلقاة خلفه تظهر بهذا الوضع قريبة من قاعدته وملونة بالوان قوس قزح

ولنؤخر الكلام على الوان المرئيات ونقدم الكلام على زوغانها فنقول اذا رمزنا بالحرف ا ب ج لأحد القطوع الأصلية من المنشور كما في الشكل (١٨٣) وبالحرف س لنقطة من مرئي موضوع في هذا القطع وبالرمز س ے لأحد الأشعة الساقطة فهذا الشعاع بانكساره في النقطة ے يبقى في مستوى السقوط ا ب ج ويقرب من الخط العمودي ے ح لانه آتٍ من الهواء الى وسط أشد كثرا منه ولكن ے ه اتجاه الشعاع المنكسر فهذا الشعاع بوصوله الى النقطة ه ينكسر ثانياً ويبعد عن الخط العمودي ه ح" ويصير اتجاهه ه و فينتج من هذا ان المرئي المشاهد خلف المنشور يظهر في بثا من قمته لان الراصد الكائن على اتجاه الشعاع البازغ ه و يشاهد النقطة س كما لو كانت في نقطة ش من امتداد ه و وينتج ايضاً ان صورة الشمس المتلقاة خلف المنشور على حائل يجب ان تظهر منخفضة نحو القاعدة لان المنشور يصيرها في الاتجاه ه و فلو كانت الاشعة الشمسية لا يعتريها انكسار لصارت على الاتجاه س ر

ثم ان الزاوية ش د س الكائنة بين الشعاع الساقط والشعاع البازغ تسمى بزوغان الشعاع الضوئي

الكلام على النهاية الصغرى للزوغان

٧٧٤ يشد قد علم بالتجربة ان الزوغان الذي يحدث من المنشور يتغير بحسب ميل الاشعة الضوئية على وجهه الأول وذلك انه اذا ادخل ضغث من الضوء الشمسي في خزانة مظلمة ثم استقبل على حائل بعيد عن فتحة الخزانة ببعد ما ووضع المنشور افقياً بالقرب من الفتحة

على اتجاه الضغث الضوئي وعينت على الحائل النقط التي تنسقط فيها صورة الشمس الحادثة من الانكسار وادير المنشور حول محور لكي يتغير ميل الأشعة الساقطة على وجهه نشاهد ان الصورة المنكسرة يتغير وضعها فيعلم من ذلك ان مقدار الزوغان يتغير كذلك وزيادة على ذلك اذا ادير المنشور في جهة واحدة بالابتداء من وضع معين فان الصورة المنكسرة تقرب شيأ فشيأ من الوضع الذي تنسقط فيه صورة الشمس ثم تقف ثم تبعد اذا دووم على تحريك المنشور فحينئذ يوجد للمنشور وضع به يؤول الزوغان الى نهايته الصغرى وتظهر هذه الحادثة اذا نظر من خلف المنشور للصورة المنكسرة الحادثة من المرئي ما وادير المنشور حول محور في جهة واحدة كما سبق

ولقياس الزوغان الاصغر يثبت المنشور في وضع رأسي على سطوة متحركة وتوضع في امتداد أحد خطوطه الأصلية دائرة افقية مدرجة بها نظارتان يمكن تحريكها حول مركزها فتحرر النظارة اولا على مرئي بعيد جدا وتعين الزاوية التي تكونت بين النظارة وسماء اقسام الدائرة ثم تحرر النظارة على المنشور لشاهدة الصورة المنكسرة الحادثة من المرئي المذكور ثم يدار المنشور على محور بواسطة السطوة المتحركة وتحرك في وقتها النظارة لتكون محررة على الصورة وتفسير ذلك ان يقال ان الزوغان في كل اوضاع المنشور يساوي الزاوية الكائنة بين اتجاه النظارة في الوضع الابتدائي واتجاهها في الوضع الانتهائي لان الاشعة المنبعثة من المرئي الى النظارة والى المنشور تعتبر متوازية بالنظر لبعد المرئي فحينئذ يكفي لايجاد زاوية الزوغان الاصغر اجراء العمل اللازم لذلك ثم انه يوجد ارتباط بين الزوغان الاصغر والزاوية المكسرة من المنشور ودليل الانكسار الخاص بمادة المنشور ويحصل الارتباط المذكور بسهولة بقبول ان الزوغان الأصغر يحصل حيثما تكون زاوية البزوغ مساوية لزاوية السقوط ولتكن ء الزاوية س ء ص التي هي الزوغان و ا الزاوية المكسرة من المنشور فيحدث

ء = ء ـ هـ + ء هـ ، هـ = ـ ـ ر + ك ـ ر

وحيث

وحيث أن ن + ر = ١٨٠° − ﻫ ، ﻫ = ١ ينتج ان ن = ﻫ + ﻫ − ١

وهاتان المعادلتان صحيحتان كائنًا ما كان ميل الشعاع الضوئي على وجه المنشور ويصلح الحالة التي يكون فيها الزوغان في نهايته الصغرى اي حينما تكون ﻫ = ﻫ ، ن = ر لانه يوجد في هذه الحالة ع = ﻫ − ١ ، ١ = ﻫ فيكون ﻫ = ½ (١ + ع) ن = ر = ½ ١

فاذا وضع في القانون جا ﻫ = ل جا ر مقدارا ﻫ ، ر آل الى جا ½ (١ + ع) = ل جا ½ ١ وهذا القانون يستعمل غالبًا في البحث عن دليل الانكسار الخاص بمادة شفافة

الكلام على شروط بزوغ الشعاع من المنشور

٧٢ عند اذا تصور أن الزاوية المكسرة من المنشور تزداد شيئًا فشيئًا فالاشعة التي تدخل في المنشور تكون مع وجهه الثاني زوايا تأخذ في الصغر كلما اخذت زاوية المنشور في الكبر وحينئذ لا تخرج تلك الاشعة من وجهه الثاني بل تنعكس عليه انعكاسًا كليًا دخليًا وهذه الحالة تحصل عند ما تكون زاوية المنشور المكسرة مساوية لضعف زاوية الحد أو أكبر من ضعفها فاذا رمز بالحرف م لزاوية المنشور المكسرة وبالحرف ﻫ لزاوية الحد وفرضنا أنه م = ﻫ كما في (الشكل ١٨٤) وأن س ﻫ شعاع ضوئي موازي للوجه ا ب او يكاد أن يوازيه فهذا الشعاع بوصوله للنقطة ﻫ يدخل في المنشور على حسب اتجاه ﻫ ه ويكون مع الخط العمودي ﻫ ء زاوية ء ﻫ ء تساوي الزاوية ﻫ وهذا الشعاع يقع عموديًا على الخط ا ك المنصف للزاوية المكسرة م وذلك لان الزاويتين ﻫ م ء ، ء ﻫ م اولاهما تساوي زاوية الحد ﻫ والثانية تساوي ٩٠° − ﻫ ومجموعهما يساوي ٩٠° فاذن تكون الزاوية ﻫ ء م قائمة ومنه ينتج ان الزاوية م ء ﻫ تساوي ٩٠° − ﻫ وان تمامها ﻫ ء ه تساوي الزاوية ﻫ فحينئذ تكون زاوية بزوغ الشعاع ﻫ ه مساوية لزاوية الحد فيخرج باتجاه موازٍ للوجه ا ه وما عداه

من الاشعة لا يمكنه الخروج من المنشور لان جميع الأشعة المحصورة بين س ے ، ح ے تنكسر بين ے ه ، ے ح وتكون مع الخطوط العمودية على الوجه ا د زوايا كل منها اكبر من زاوية الحد والاشعة الموضوعة فوق الخط العمودى ح ے لا تخرج من الوجه ا د كذلك

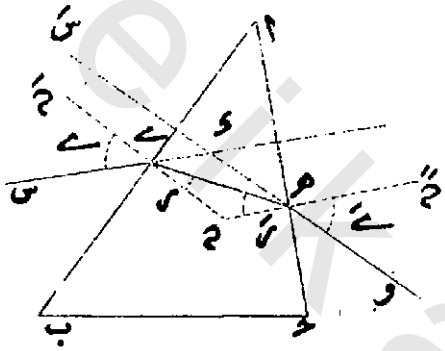
واذا كانت زاوية المكسرة اكبر من ٤ ح بأن كانت مساوية للزاوية ب ا د مثلاً فلا يمكن ان يخرج شعاع من الاشعة لان الشعاع ے ه يكون فى هذه الحالة زاوية سقوط اكبر من زاوية الحد

واذا كانت الزاوية م < ٤ ح فان بعض الأشعة الساقطة على احد الوجهين يمكن أن يخرج من الوجه الآخر فاذا كان ب ا منشورًا زاويته أصغر من ٤ ح وكانت ب ا د منشورًا آخر زاويته تساوى ٤ ح كما فى (الشكل ١٨٥) فان الشعاع المنكسر ے پ يخرج من الوجه ا ى لانه يصنع مع الوجه ا ى زاوية ے پ ا اكبر من الزاوية ے ه ا فتكون الزاوية التى تحدث بينه وبين الخط العمودى على الوجه المذكور أصغر من الزاوية ح وكذا أى شعاع من الاشعة الواقعة بين الشعاع ے پ والشعاع ے ك الممتد بزاوية ے ك ا = ے ه ا ويشاهد من ذلك ان حدد الاشعة البارزة يكبر تبعًا لقرب الوجه ا ى من الوجه ا ب أى تبعًا لصغر زاوية التكسير

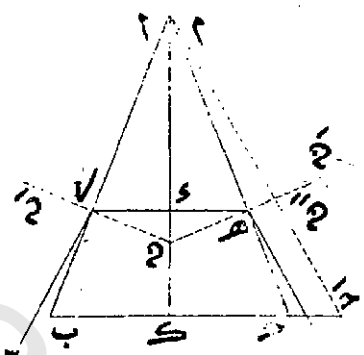
واذا كانت الزاوية م مساوية لزاوية الحد ح فالشعاع العمودى ح ے ينطبق على الوجه ا د لان الزاوية ے ح ا تعادل حينئذ ٩٠ - ح والشعاع ے ح فقط يصنع مع الخط العمودى فى النقطة ح زاوية مساوية لزاوية الحد واما الأشعة الواقعة بين ے پ ، ے ح فانها تكون زوايا سقوط كل منها اصغر من زاوية الحد والأشعة الكائنة تحت الخط ے ح تكون زوايا سقوط كل منها

اكبر من زاوية الحد فحينئذٍ الأشعة الاولى يمكنها الخروج من المنشور بخلاف الاشعة الثانية فانها تنعكس على الوجه الثاني من المنشور انعكاساً كلياً داخلياً

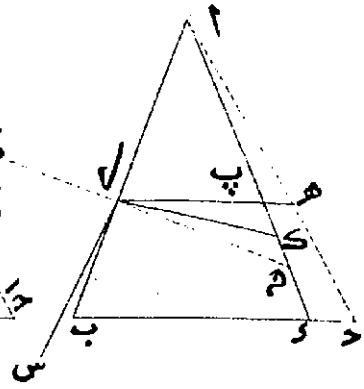
شكل ١٨٣



شكل ١٨٤



شكل ١٨٥



الكلام على تعيين دليل الانكسار الخاص بمادة شفافة

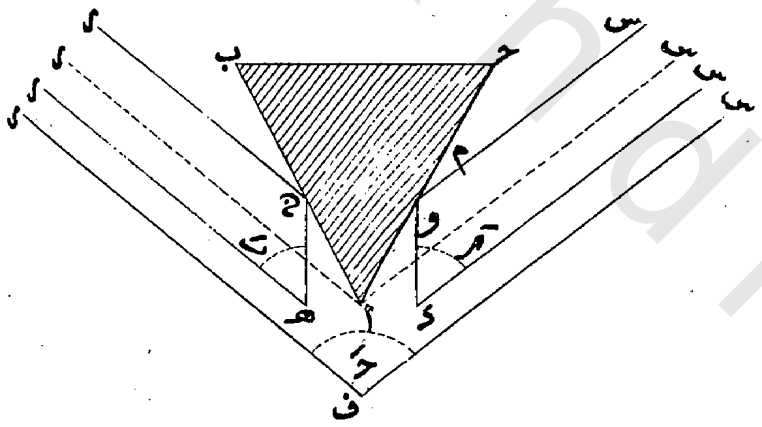
بند ٧٤ قد استعملوا عدة طرق لتعيين دلايل الانكسار الخاصة بالاجسام الشفافة ابسطها واضبطها مؤسس على الزوغان الأصغر وهي صالحة للأجسام الجامدة والمايعة والغازية

فاما تعيين دليل الانكسار الخاص بجسم جامد شفاف فانه يعمل من مادة هذا الجسم منشور مثلثي وتعين زاويته المكسرة ثم يوضع مقدارها ومقدار الزوغان في القانون الذي هو جا $\frac{1}{2}$ (أ + ء) = ل جا $\frac{1}{2}$ أ فيتعين الدليل المطلوب ــــــــ

وكيفية تعيين زاوية التكسير من المنشور انه يوضع المنشور وضعاً به تكون اصلاعه رأسية (كما في الشكل ١٨٦) ثم تؤخذ دائرة مدرجة بها نظارتان يمكن تحريك كل منها حول مركزها وتوضع افقية في نقطة بعيدة عن المنشور ربعد ما كالنقطة ء ثم تحرر احدى النظارتين على مرئي بعيد جداً كالمرئي س وتحرر الاخرى على المنشور بحيث ترى بها صورة المرئي المذكور

الحادثة من الانعكاس على الوجه اح فتكون الزاوية م وس الحادثة بين النظارتين مساوية للزاوية م و س فاذن تكون مساوية لضعف الزاوية ح ا س فاذا رمزلها بالحرف أ يحدث ج ا س = ½ أ وبعد اجراء هذه العملية يوضع مركز الدائرة في نقطة اخرى كالنقطة هـ وتحر احدى النظارتين على م في آخر بعيد جدًا كالمرئي ر ومرّ الاخرى على الوجه ا ب لكي ترى بالانعكاس صورته ثم تقاس الزاوية ر هـ ؟ الحادثة بين النظارتين فاذا رمز لها بالحرف ب حدث كما تقدم ب ا ر = ½ ب واخيرًا يوضع مركز الدائرة في نقطة ثالثة كالنقطة ف وتحر احدى النظارتين على أحد المرئيين ر أو س والاخرى على الآخر ثم تقاس الزاوية حـ الحادثة بينهما وحينئذٍ الزوايا الثلاث التي هي أ ، ب ، حـ تكفي لتعيين زاوية المنشور لان ا = ر ا س - ح ا س - ب ا ر أي ا = حـ - ½ (أ + ب)

شكل ١٨٦

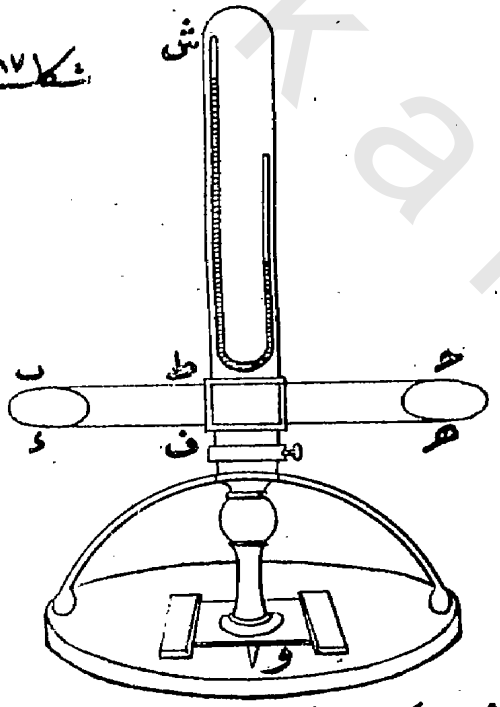


واما تعيين دليل الانكسار الخاص بمادة ما شفة فان يعمل منشور يجوف من الزجاج ويدخل فيه المائع الذي يراد تعيين دليل الانكسار الخاص به ثم تقاس زاوية تكسير المنشور وكذا الزوغان الأصفر كما يفعل بالأجسام الجامدة فاذا كان بوجهي المنشور سطحان مستويان ومتوازيان كان الزوغان حادثًا من المائع الذي في المنشور لا من المنشور لان السطوح المستوية المتوازية لا تحدث زوغانًا لاشعة الضوء فيكفي حينئذٍ لمعرفة دليل الانكسار الخاص بمادة المائع المظروف في المنشور ان يوضع في القانون مقدارا ا ، ء المعينين لهذا المنشور

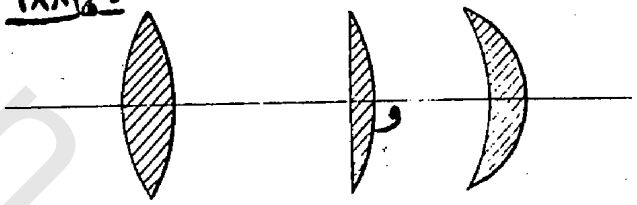
واما تعيين

ولما يعين دليل الانكسار الخاص بمادة غازية فانه توخذ انبوبة كبيرة من الزجاج كالموصوف لها بالحروف ب جـ د هـ من (الشكل ١٨٧) طرفاها مقطوعان بانحراف ومغلقان غلقاً محكماً بصفيحتين ب د ، جـ هـ ذاتي وجهين متوازيين زاويتهما كبيرة جداً ليزداد مقدار زوغان الضوء بمرورهِ من الغاز لان الغازات تحدث لاشعة الضوء زوغاناً يسيراً ثم تثقب تلك الأنبوبة من وسط طولها ثقبين متقابلين اسفلها يستطرق بأنبوبة ف و ذات حنفية يمكن ان تتصل بالآلة المفرغة أو بالنواقيس التي تكون فيها الغازات والثقب العلوي يستطرق بانبوبة ط ش تحتوي على البارومتر ذي المهمز المعد لقياس قوة مرونة الغاز المظروف في الأنبوبة

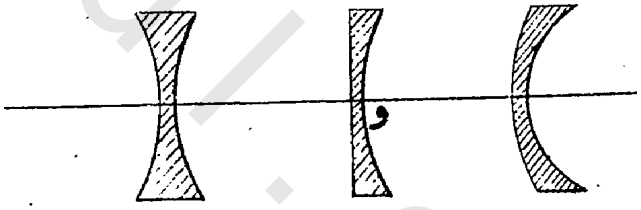
شكل ١٨٧



شكل ١٨٨ شكل ١٨٩ شكل ١٩٠



شكل ١٩١ شكل ١٩٢ شكل ١٩٣



جدول يشتمل على بعض الأجسام الشفافة وعلى دلائل الانكسار الخاصة بها

كروميات الرصاص	٢,٩٧٤
ماس	٢,٧٥٥
فوسفور	٢,٢٢٤
كبريت	١,٤٨٤
زجاج عادي	١,٥٥٠

فلنت كلاس	١٫٥٧٦
كروڤن كلاس	١٫٥٣٤
ملح جبلى	١٫٥٤٥
بللور	١٫٣٨٤
رطوبة زجاجية	١٫٣٣٩
رطوبة مائية	١٫٣٤٧
ماء	١٫٣٣٦
الكحول	١٫٣٧٢
ايثير	١٫٣٥٨
هواء جوى	١٫٠٠٠٢٩٤
اوكسيجين	١٫٠٠٠٢٧٢
ايدروجين	١٫٠٠٠١٣٨
كلور	١٫٠٠٠٧٧٢
ازوت	١٫٠٠٠٣٠٠
حمض كربونيك	١٫٠٠٠٤٤٩
حمض كلورايدريك	١٫٠٠٠٤٤٩
امونيالك	١٫٠٠٠٣٨٥

الكلام على درجة التكسير

٢٧٥ يطلق اسم درجة التكسير لجسم شفاف على الفرق بين مربع دليل انكسار والواحد أعنى

على ل ـ ا وهذه النكتة على رأى السريان تناسب تأثير الجسم فى جزئيات الضوء وعلى رأى القوم تتعلق بكثافة الإثير فى الجسم الذى يدخل فيه الضوء ويسهل تعيين درجة تكثير أى جسم شفاف دليل انكسار معين وذلك أن درجة تكثير الهواء مثلاً تساوى ١٫٠٠٠٥٨٩ فى طقس الثلج الذايب وتحت الضغط المتوسط الذى مقداره ٠٫٧٦ متر

الكلام على قوة التكثير

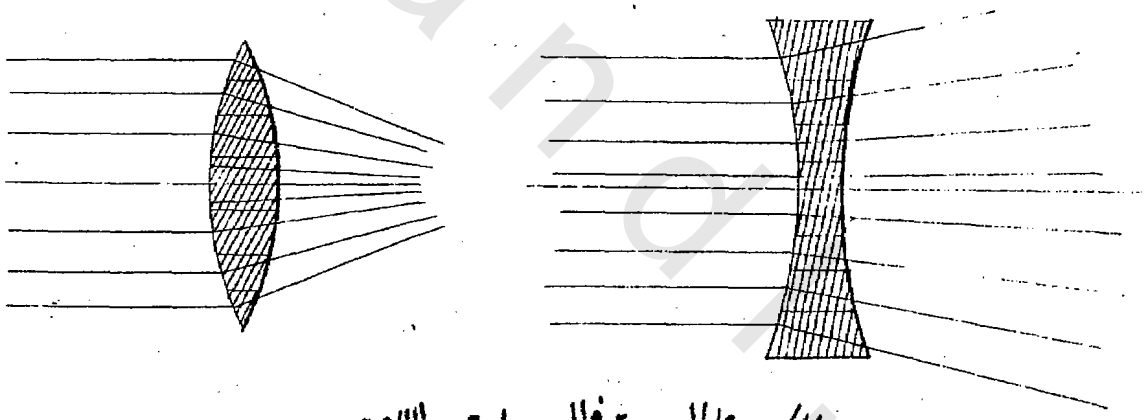
٧٦ يطلق اسم قوة التكثير لجسم شفاف على النسبة بين درجة تكثيره وكثافته فالأجسام السهلة الانقياد شديدة التكثير للضوء واقوى الأجسام كثرًا للضوء هو الايدروجين والفوسفور والكبريت والماس واما قوة التكثير فى الجسم الغازى فانها ثابتة فى جميع الغازات وفى جميع الضغوط لان درجة تكثيره تناسب كثافته

الدرس الخامس والاربعون

فى العدسات الأصلية

٧٧ العدسة جسم شفاف محدود بسطحين كرويين أو أحدهما مستوٍ والآخر كروى وتنقسم العدسات باعتبار سطحيها الى ست الاولى العدسة المحدبة الوجهين أى التى كل من وجهيها سطح كروى محدب سواء كان نصف قطر احدهما ساويًا لنصف قطر الآخر أو غير مساوٍ له الثانية المستوية المحدبة وهى عدسة احد وجهيها مستوٍ والآخر كروى محدب الثالثة الهلالية اللامة وهى عدسة احد وجهيها محدب والآخر مقعر ونصف قطر الوجه المقعر اكبر من نصف قطر الوجه المحدب الرابعة العدسة المقعرة الوجهين اى التى كل من وجهيها سطح كروى مقعر سواء كان نصف قطر احدهما ساويًا لنصف قطر الآخر أو غير مساوٍ له الخامسة المستوية المقعرة وهى عدسة احد وجهيها مستوٍ والآخر كروى مقعر السادسة الهلالية المعرفة وهى عدسة احد وجهيها محدب والآخر مقعر ونصف قطر الوجه المقعر أصغر من نصف

قطر الوجه للحدب وهذه العدسات الستة تنقسم إلى قسمين لامة ومفرقة فاللامة هي الغليظة الوسط الرقيقة الحواف وهي الثلاث الأول وسميت لامة لانها تلم الأشعة على حسب غلظ وسطها قلة وكثرة الى النقطة المسماة بالبورة والمفرقة بعكسها وهي الثلاث الأخيرة فهي رقيقة الوسط غليظة الحواف وسميت مفرقة لكونها تفرق الأشعة المارة فيها وتبعدها عن محورها على حسب رقة وسطها وغلظ حوافيها قلة وكثرة ومحور العدسة هو الخط المستقيم الواصل بين مركزي السطحين الكرويين والمحور في العدسة المستوية المحدبة أو المستوية المقعرة هو المستقيم الممتد من مركز السطح المنحني عموداً على السطح المستوي فعلى هذا تنقسم العدسات الى النوعين ما يعتبر بمنزلة منشورين متلاقيين بقاعدتيهما وما يعتبر بمنزلة منشورين متلاقيين بقمتهما والمحور في النوعين يكون في ملتقاهما وعلى حسب ما ذكرناه في كيفية سير الضوء في المنشور في نقطتي الدخول والخروج يشاهد انضمام الأشعة الضوئية في النوع الأول وتفرقها في الثاني



الكلام على البورة في العدسات اللامة

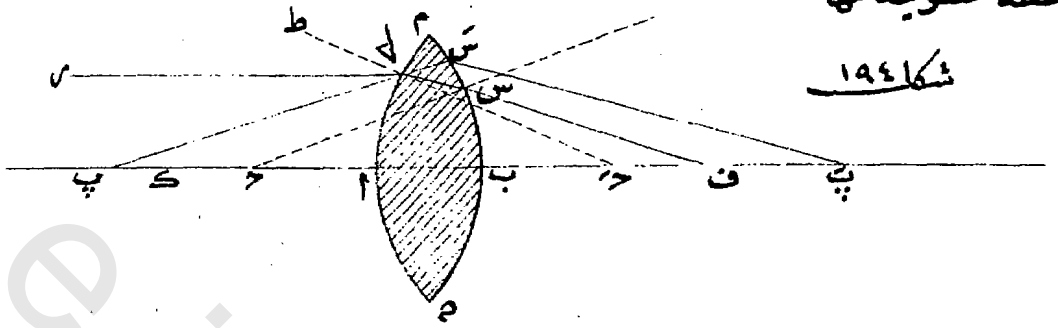
٢٧٨ لتعتبر أولاً عدسة محدبة الوجهين م ح كالمرسومة في (الشكل ١٩٤) وليكن جـ رـ حـ مركزي السطحين الكرويين و ر ﻫ شعاعاً ساقطاً موازياً للمحور حـ حـ فهذا الشعاع بوصوله الى النقطة ﻫ يقرب من الخط العمودي حـ ﻫ لكونه آتياً من الهواء الى وسط أشد كثرة منه ويأخذ الاتجاه ﻫ س وبوصوله الى النقطة س يزوغ ايضاً عن اتجاه سيره الأول فيبعد عن الخط العمودي حـ س الممتد من نقطة البزوغ ويخرج على حسب الاتجاه

ن ف وكل من الأشعة الاخرى الموازية لمحور العدسة يرجع كذلك عن اتجاه سيره الأول فاذا كان كل من القوسين م ا ح ، م ب ح لا يزيد عن ١٠ أو ١٥ مرت الأشعة المنكسرة بالنقطة ف وهذه النقطة هي المسماة بالبورة الأصلية للعدسة والبعد ب ف يسمى بالبعد البؤري الأصلي

واذا فرض أن النقطة الضوئية موضوعة في پ على المحور الأصلي للعدسة لكن على بعد محدود وكان پ ے شعاعاً ساقطاً فهذا الشعاع يمر دون أن انكسار في الهواء ودخوله في العدسة يقرب من الخط العمودي الممتد من نقطة السقوط ويأخذ الاتجاه ے ى وبوصوله الى النقطة ى يرجع ايضاً عن اتجاه سيره الأول ويخرج على حسب الاتجاه ى پ والنقطة پ التي هي محل تقاطع المحور بالشعاع المنكسر توجد لا محالة خلف البورة الأصلية لانه حيث كانت زاوية السقوط پ ے ط أكبر من الزاوية ر ے ط وجب ان يبعد الشعاع ے ى عن الخط العمودي ے ح اكثر من بعد الشعاع ے س عن ے ح وجميع الأشعة المبعثة من النقطة پ تتقاطع في النقطة پ وتكون بورتها فيها وكلما قربت النقطة الضوئية من العدسة كبرت زاوية سقوط الشعاع على وجهها الأول وبعدت نقطة تقاطع الأشعة المنكسرة بالمحور أي أن البورة تبعد عن العدسة كلما قربت النقطة الضوئية منها واذا كانت النقطة الضوئية قريبة جداً من العدسة كما لو كانت في النقطة ح مثلاً فالاشعة المنكسرة تقطع المحور في نقطة بعيدة جداً أي انها تصير موازية له فاذا قربت النقطة الضوئية للعدسة من هذا الحد لا تصير الأشعة المنكسرة موازية للمحور ولا تقطعه في نقطة من الجهة الأخرى من العدسة اي انه لا توجد بورة حقيقية فاذا اعتبرت نقطة ضوئية كالنقطة پ قريبة جداً من العدسة كما في (الشكل ١٩٥) فالأشعة المنكسرة مثل س و ى ز تبعد عن المحور واتجاهها هو الذي يمكنه ان يقطعه والنقطة پ التي هي محل التقاطع تسمى بالبورة التقديرية للنقطة پ وينبغي ان يعلم ان الاشعة المنكسرة لا تمر اصلاً بالبورة التقديرية بل الذي يمر بها انما هو اتجاهها

فقط والبورة التقديرية في العدسات المحدبة الوجهين توجد دائماً في الجهة التي فيها النقطة الضوئية وكلما بعدت النقطة الضوئية عن العدسة بعدت البورة التقديرية كذلك وتقرب منها اذا قربت النقطة الضوئية لها

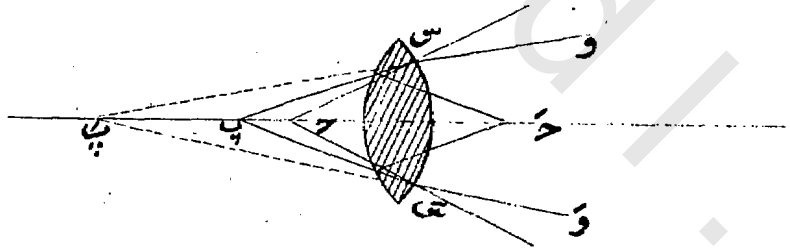
شكل ١٩٤



ويستنتج من الملحوظات المتقدمة ان اى عدسة محدبة الوجهين هى دائماً لامة وتكون لامة حينما يكون للنقطة الضوئية بورة حقيقية لانها تجمع الاشعة بعد نفوذها منها الى نقطة واحدة سواء كانت متوازية او غير متوازية ولا تزال لامة حينما يكون للنقطة الضوئية بورة تقديرية لانها تقرب الاشعة الضوئية اى تنقص انفراجها

ثم ان ما ذكر يعم اى عدسة مستوية محدبة واى عدسة هلالية لامة

شكل ١٩٥



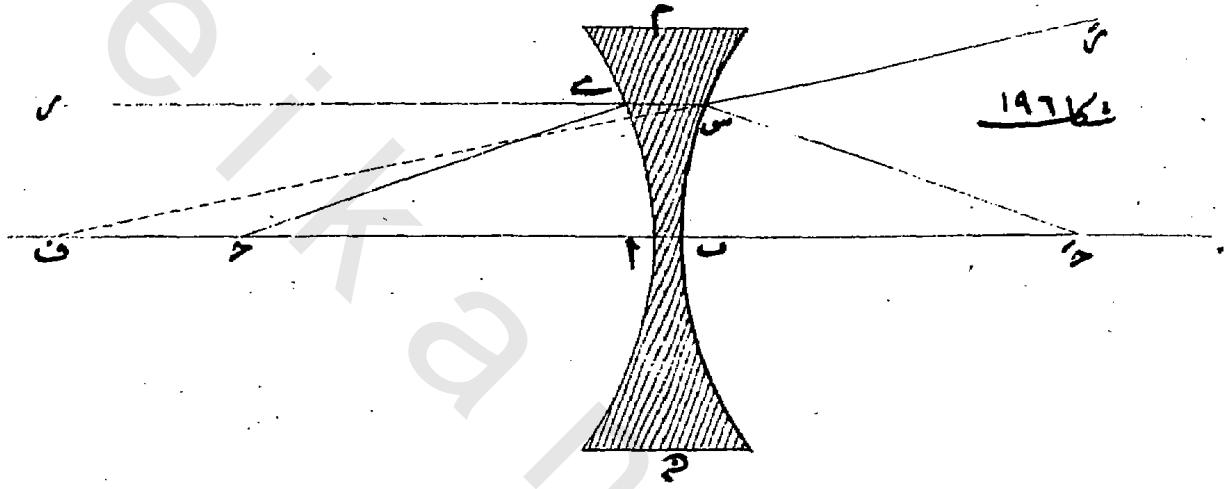
الكلام على البورة في العدسات المفرقة

٧٩ لنعتبر اولاً عدسة مقعرة الوجهين كالمرسومة في (الشكل ١٩٦) فاذا فرض أن ر ے شعاع ضوئي موازٍ للمحور فهذا الشعاع بوصوله للنقطة ے يزوغ عن اتجاه سيره الأول ويأخذ الاتجاه ے س وبوصوله للنقطة س يزوغ ايضاً ويبعد عن محور العدسة ويأخذ الاتجاه س ر' وكذا يحصل للأشعة الاخرى المتوازية اى انها بعد انكسارها لا تقطع

محور العدسة

محور العدسة بل اذا فرض انها امتدت على استقامتها بعكس اتجاه سيرها قطعته في النقطة ق المسماة بالبورة التقديرية الأصلية

واذا اعتبرت نقطة ضوئية موضوعة على المحور على بعد محدود شوهد بالعملية السابقة انه يحدث عنها بورة تقديرية وانها تصير موضوعة بين العدسة والنقطة الضوئية وانها تقرب من العدسة كلما قربت النقطة الضوئية منها وكذا الحال في العدسة المستوية المقعرة والهلالية المفرقة

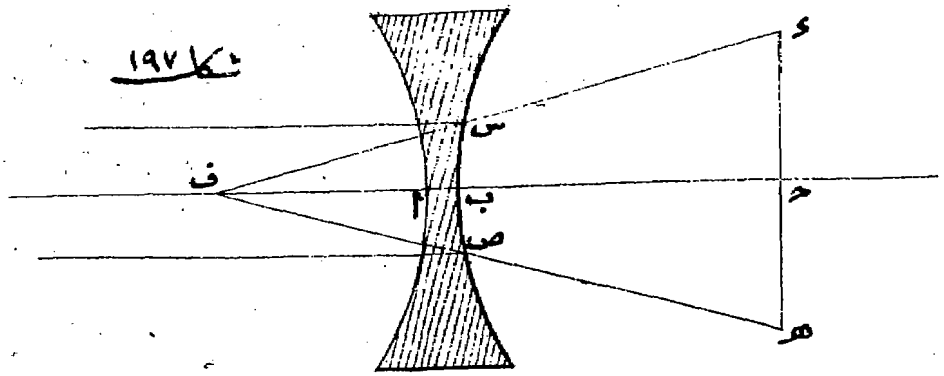


شكل ١٩٦

الكلام على طريقة تعيين البورة في العدسات

٣٨٠ بند أما كيفية تعيين البورة الحقيقية في عدسة لامة فان تستقبل بأحد وجهيها الشمس ويستقبل بالوجه الآخر سطح من ورق أو مقوى او غيرهما ويتباعد بذلك السطح عنها شيئاً فشيئاً حتى تظهر دائرة صغيرة زاهية جدًا هي البورة الحقيقية واما كيفية تعيين البورة الأصلية في عدسة مفرقة فان يلصق على أحد وجهيها ورقة رقيقة من القصدير أو من الورق ويجعل فيها ثقبان متقاربان س ص كما في (الشكل ١٩٧) على بعد واحد من المحور ثم تستقبل الشمس بالوجه الآخر ثم تتلقى الحزمتان المنكسرتان س ر ، ص هـ على المقوى او الحائل ويتباعد به حتى يصير البعد ر هـ ضعف س ص فحينئذ يكون البعد ب ج ساويًا للبعد البؤري الأصلي ب ق كما هو واضح

شكل ١٩٧



الكلام على كيفية الاحراق بالعدسات اللامة

٧٨١ من المعلوم ان العدسة اللامة تضم الاشعة الشمسية وتقربها لمحورها والحرارة في الشمس تابعة للضوء فتكون في بورة تلك العدسة حرارة كافية لاحراق الخشب والبارود وغيرهما من الأجسام القابلة للاحتراق بل اذا كانت تلك الحرارة شديدة اذا بتت الرصاص والقصدير ونحوهما وهذه العدسات تسمى بالزجاجات المحرقة او المشعلة واذا كان قطرها كبيرا كثلاثة أقدام مثلاً لاتصل الاشعة الساقطة على الحواشي الى البورة أصلاً

الكلام على انكسار الضوء اذا كان السطح الفاصل بين الوسطين منحنياً كروياً

٧٨٢ اذا كان السطح الفاصل بين الوسطين كرويا فاما ان يكون تحدبه جهة الوسط الاتي منه الضوء أو جهة الوسط الآخر وفي كل من الحالتين قد يكون الوسط الاتي منه الضوء أقل كثافة من الثاني وقد يكون اكثر كثافة منه فلاختبار هذه الأحوال بالسهولة نفرض أن ب نقطة ضوئية تنبعث منها اشعة ضوئية وان ج مركز السطح الفاصل بين الوسطين المحدب جهة ب و ا نقطة تقاطع ج ب بالسطح المذكور و ا م تقاطعه بمتوجا بني مار بالمستقيم ج ب و م ب شعاع ضوئي

ساقط قريبًا من جـ ب , م بَ الشعاع المنكسر في الوسط الثاني المفروض انه أشد كسرًا من الأول و ل دليل هذا الانكسار و نو , ب , بَ الأبعاد اجـ , اب , ابَ و ك القوس ام , ے , ر زاويتا السقوط والانكسار , ب , جـ , بَ الزوايا التي رؤسها ب , جـ , بَ المحصور فيها القوس ام فيوجد

ب = ے − حـ و بَ = حـ − ر و جا ے = ل جا ر ولصغر زاويتي ے , ر يكون ے = ل ر , ب = ے − حـ , لبَ = ل حـ − ے و ب + لبَ = (ل − ١) حـ وحيث انه يمكن اعتبار القوس ام خطا مستقيمًا عموديًا على ب جـ وتعويض الزوايا ب , بَ , حـ بظلالها

يكون $\frac{ك}{ب}$, $\frac{ك}{بَ}$, $\frac{ك}{نو}$

$\frac{ل}{بَ} + \frac{١}{ب} = \frac{ل - ١}{نو}$ ومنها يستخرج $بَ = \frac{ل ب ر}{ب(ل-١) - ر}$

مناقشات

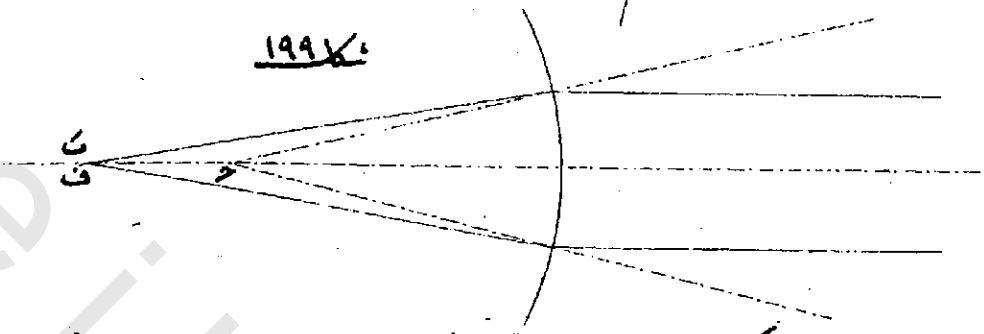
الاولى حيث ان مقدار بَ غير مرتبط بالكمية ك أي بالقوس ام فجميع الأشعة المنبعثة من النقطة الضوئية ب تمر بالنقطة بَ بشرط ان يكون ميلها عن المحور حـ ب قليلًا وبالعكس أي أن جميع الأشعة الخارجة من النقطة بَ تمر بعد انكسارها بالنقطة ب ولهذا سميت النقطتان ب , بَ ببورتي الانكسار المتزاوجتين

والثانية اذا كانت الأشعة الساقطة متوازية تكون الكمية ب غير محدودة وتكون ك = $\frac{ل ر}{ل - ١}$ ونقطة بَ تسمى حينئذٍ بالبورة الأصلية

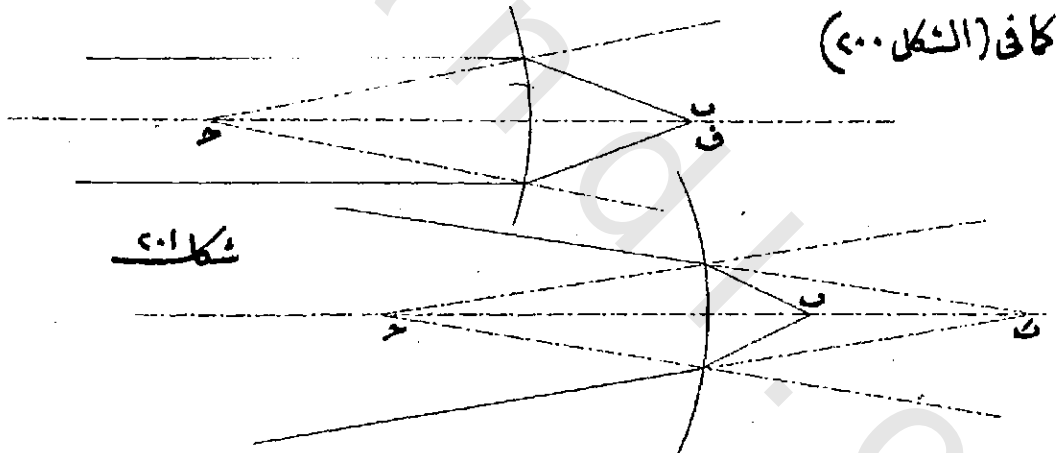
والثالثة اذا كانت الكمية ب محدودة واكبر من $\frac{ر}{ل - ١}$ تكون الكمية ك موجبة وتكون البورة بَ حقيقية وموضوعة في الوسط الثاني كما في (شكل ١٩٩)

شكل ١٩٨

شكل ١٩٩



والرابعة اذا كانت الكمية ب = $\frac{ك}{ل-١}$ تكون الكمية ب لانهائية وتصير الأشعة المنكسرة متوازية وفي هذه الحالة اذا كان الضوء يسير بالعكس بأن كان آتيا بحزمة أشعة متوازية من الوسط الأشد كثرًا الآخر تصير النقطة ب التي بعدها ب = $\frac{ك}{ل-١}$ بورة أصلية كما في (الشكل ٢٠٠)



شكل ٢٠١

والخامسة اذا كانت الكمية ب < ($\frac{ك}{ل-١}$ تصير الكمية ب سالبة وحينئذ فالأشعة المنكسرة تنفرج ويمر امتداد كل منها بالنقطة ب الموضوعة في الوسط الموجودة فيه النقطة ب فني هذه الحالة يقال للنقطة ب بورة تخيلية أو تقديرية كما في (الشكل ٢٠١)

والسادسة اذا كان السطح الفاصل بين الوسطين مقعرًا وجب تغيير اشارة الكمية ر في القوانين السابقة فتصير الكمية ب سالبة دائمًا مهما كانت الكمية ب أي أن البورة ب تصير تقديرية دائمًا

الكلام على الحسابات المتعلقة بتعيين البور

بند ٢٨٣ لنعتبر اولاً عدسة محدبة الوجهين وليكن م مَ مقطعها الجانبي ، ب ك شعاعاً ضوئياً خارجاً من النقطة ب ومايلاً على المحور ب ؟ بزاوية صغيرة فهذا الشعاع بعد ان ينفذ من السطح الأول م ك مَ ينكسر داخل العدسة ويصير اتجاهه ك كَ فلو كان السطح الثاني م كَ مَ غير موجود لقابل المحور في النقطة تَ لكنه عند دخوله في الهواء من النقطة كَ ينكسر مرة اخرى ويصير اتجاهه كَ بَ ويقابل المحور في النقطة بَ وكل شعاع مماثل للشعاع ب ك يقابل المحور المذكور في النقطة تَ المساة بالبورة المزاوجة للنقطة ب ولايجاد القانون الذي يتعين به بعد البورة عن العدسة بعد معرفة بعد النقطة الضوئية عنها يرمز بالحرف ل لدليل الانكسار الخاص بالمادة المكونة منها العدسة وبالحرف ر لنصف قطر السطح م ك مَ وبالحرف رَ لنصف قطر الكرة التي سطحها م كَ مَ وبالحرف ب للبعد ب ؟ الذي هو بعد النقطة الضوئية عن العدسة وبالحرف بَ للبعد الكائن بينها وبين البورة المزاوجة وبالحرف بَ للبعد بَ ؟ الذي هو لبعد بين وسط السطح الفاصل م ؟ مَ وبين البورة المزاوجة بَ (للنقطة الضوئية ب) التي تكون لو كان الوسط المكسر غير محدود بالسطح م كَ مَ فيوجد بمقتضى ما ذكر في (البند ٢٨٢)

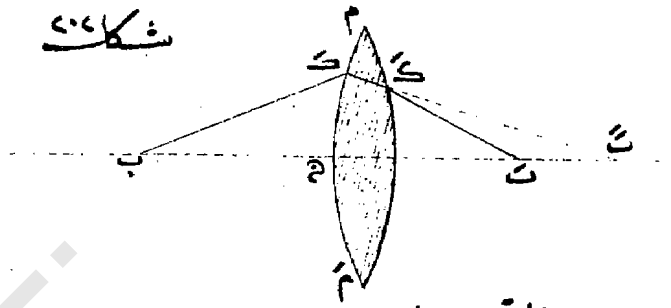
$$\frac{١}{ب} + \frac{ل}{بَ} = \frac{ل-١}{ر}$$

وحيث أن الشعاع ك كَ بعد نفوذه من العدسة يصير اتجاهه كَ بَ ويقطع المحور في النقطة بَ فلا مانع من اعتبارها نقطة ضوئية تنبعث منها اشعة للسطح م كَ مَ وامتداد تلك الأشعة يقطع المحور في النقطة بَ التي هي البورة التخيلية للنقطة ب وحينئذ يكون $\frac{١}{ب} - \frac{ل}{بَ} = \frac{ل-١}{رَ}$ فاذا جعلت هذه المعادلة على السابقة حدًّا

$$\frac{1}{ب} + \frac{1}{ح} = \frac{ل-1}{ر} + \frac{ل-1}{ر} = (ل-1)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر}\right)$$

وهو القانون الذى يستعمل لتعيين موضع البورة بعد معرفة موضع النقطة الضوئية ونصفى قطرى السطحين الكرويين ودليل الانكسار

شكل ٢٠٠



مناقشات

الاولى اذا فرض فى هذا القانون ان البعد ب لانهائية دلت على ان مقدار البعد ب على البعد البورى الأصلى للعدسة فاذا رمز له بالحرف ف آل الى

$$\frac{1}{ف} = (ل-1)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر}\right)$$ ومنه ينتج

$$ف = \frac{ر ر}{(ل-1)(ر + ر)}$$

فحينئذ يمكن معرفة البعد البورى الأصلى للعدسة بعد معرفة نصفى قطرى سطحيها ودليل الانكسار الخاص بمادتها ولا يبحث عنه بهذه الواسطة الا نادرا لان تعيينه بالتجربة أسهل

والثانية اذا وضع فى القانون العام ف بدلا مما يه صارت صورته هكذا

$$\frac{1}{ب} + \frac{1}{ح} = \frac{1}{ف} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

وهذا هو القانون الذى يستعمل عادة فى مناقشات الحوادث الصادرة عن العدسات ويبين انه كلما نقصت البعد ب زاد البعد ب أى أنه كلما قربت النقطة الضوئية من العدسة بعدت البورة عنها

والثالثة اذا فرض فيه أن ب = ق نتج منه ب = ص أعنى انه اذا كانت النقطة الضوئية فى البورة الأصلية صارت بورتها على بعد لانهائى أى أن الأشعة البارزة

تصير موازية للمحور

والرابعة اذا فرض فيه أن ب ز صار مقدار ب ـ سالباً وحينئذٍ لا تكون بورة حقيقية والأشعة المنكسرة لا تقطع المحور والذى يقطعه انما هو امتدادها فقط ونقطة التقاطع هى البورة التقديرية

ثم ان القانون الذى يستعمل لتعيين موضع البورة التقديرية يتحصل بكيفية مشابهة للكيفية السابقة ويمكن وضعه بهذه الصورة

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{ت} = \frac{1}{و} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

والحروف ـ ت ، و تدل هنا على ما دلت عليه فى القانون الأول غير انه ينبغى ان يلاحظ ان مقادير الكمية ب تحسب فى الجهة التى تحسب فيها مقادير الكمية ب وهذا القانون يبين انه كلما نقصت الكمية ب نقصت الكمية ت كذلك أعنى انه اذا قربت النقطة الضوئية من العدسة قربت بورتها التقديرية كذلك ويبين ايضاً ان الكمية ب هى دائماً أكبر من الكمية ب وينبنى على هذا ان العدسة المحدبة الوجهين هى دائماً لامة حتى فى الحالة التى تكون فيها البورة تقديرية ثم ان القانونين المتقدمين (١) و (٢) ينطبقان ايضاً على العدسة المقعرة المحدبة والعدسة الهلالية اللامة كما يمكن بيانه بالسهولة واذا جرى فى العدسة المفرقة العمل الذى جرى فى العدسة اللامة يتوصل الى هذا القانون

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{ب} = -\frac{1}{ق} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

الذى يستعمل لتعيين موضع البورة التقديرية بعد معرفة بُعد النقطة الضوئية عن العدسة وبعد ها البورى الأصلى و ويعلم من هذا القانون أن البورة تكون دائماً اقرب للعدسة من النقطة الضوئية ويعلم منه ايضاً ان البورة تقرب أو تبعد عن العدسة تبعاً لقرب النقطة الضوئية او بعدها عنها

الكلام على المركز البصري

٢٨٤ يوجد على محور العدسة نقطة لها خاصية شهيرة هي أن أي شعاع ضوئي مروره بها يخرج من العدسة موازيًا لاتجاه سقوطه وهذه النقطة هي المسماة بالمركز البصري وحين يكون سمك العدسة قليلًا كما هي العادة يكاد الشعاع البازغ أن يكون على استقامة الشعاع الساقط ولإيجاد المركز البصري للعدسة المحدبة الوجهين أو المقعرة الوجهين يمد من مركزي السطحين الكروين شعاعان متوازيان ويوصل بين نهايتيهما بمستقيم فنقطة تقاطعه بالمحور هي المركز البصري

وإيضاح ذلك أن يفرض عدسة محدبة الوجهين أو مقعرة الوجهين كما في (الشكل ٢٠٣) وأن جـ س ، حَ سَ شعاعان متوازيان ثم يقال حيث أن الخطين س ، سَ عموديان على هذين الشعاعين بالتناظر يكونان متوازيين وكل شعاع من الأشعة الضوئية تتبع الخط س وسَ يخرج باتجاه يوازي اتجاهه قبل دخوله في العدسة بقي علينا أن نبين أن أي مستقيم وصل بين طرفي أي شعاعين متوازيين يقطع المحور في نقطة لا تتغير بتغير ميل الأشعة عن المحور المذكور ويتوصل لذلك بمقارنة المثلثين المتشابهين جـ و س ، حَ و سَ فيحدث

جـ و : حَ و :: جـ س : حَ سَ ومنه ينتج

جـ و : جـ و + حَ و :: جـ س : جـ س + حَ سَ

وإذا رمزنا بالحرف م لبعد المكان بين مركزي سطحي العدسة وبالحرف ر لنصف القطر جـ س وبالحرف رَ لنصف القطر حَ سَ آل المناسبة السابقة إلى

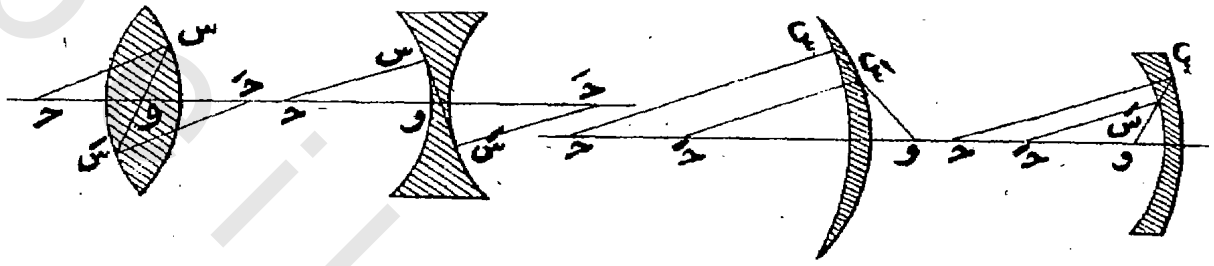
جـ و : م :: ر : ر + رَ

فيعلم من هذه المناسبة أن مقدار البعد جـ و غير مرتبط بالزاوية التي تحدث بين الشعاع جـ س أو حَ سَ ومحور العدسة وينبني على هذا أن النقطة و هي نقطة تقاطع المحور بأي مستقيم وصل بين طرفي أي شعاعين متوازيين وهذه النقطة هي المركز البصري وما ذكر ينطبق أيضًا على عدسة الهلالية لامة كانت أو مغرقة كما في (الشكل ٢٠٤)

وأما العدسة المستوية المحدبة أو المستوية المقعرة فالمركز البصري فيها هو نقطة تقاطع المحور بوجهها المنحني وهو المرموز له بالحرف و في الشكلين (١٨٩, ١٩٠) لان الجزء الكروي المار بهذه النقطة يوازي لامحالة وجه العدسة المستوي

شكل ٢٠٣ ش

شكل ٢٠٤ ش



ثم ان الأشعة الضوئية التي تقطع العدسة وتمر بمركزها البصري تعتبر نافذة من وسط شفاف محاط بسطحين متوازيين فاذا كان سمك العدسة كبيرا صار الشعاع البازغ موازيا لاتجاه سقوطه لكنه بعيد عنه بعدا كبيرا تابع لكبر سمكها وأما اذا كان السمك بعض ميليمترات كاد الشعاع البازغ ان يكون على استقامة الساقط سيما اذا كانت الزاوية الحادثة بين الشعاع الساقط ومحور العدسة صغيرة

الكلام على المحاور الثانوية المسماة ايضا بالمحاور البصرية

١٨٥ ش يقال النقطة الضوئية التي لا تكون على محور العدسة يتكون عنها بورة حقيقية او تقديرية كالنقطة التي تكون عليه وهذه البورة توجد دائما على المحور الثانوي للعدسة اعني على الخط المستقيم المار بالنقطة الضوئية وبالمركز البصري ويتعين موضعها بالمعادلتين المتعلقتين بالمحور الأصلي فاذا اعتبرت نقطة ضوئية كالنقطة ك من الشكل ٢٠٥ قريبة من المحور الأصلي ووصل بينها وبين المركز البصري و بالمستقيم ك و كان هو المحور البصري الموجودة هي عليه والشعاع المنبعث منها في اتجاه هذا المحور يخرج على حسب الاتجاه وك الذي يمكن اعتباره على استقامة وك والشعاع المنبعث منها في الاتجاه ك ك الموازي للمحور الأصلي

تخرج على حسب الاتجاه س ف المار بالبورة الأصلية للعدسة والنقطة كَ التي هي نقطة تقاطع الشعاعين وكَ , س كَ هي لامحالة نقطة تقاطع جميع الأشعة الاخرى المنكسرة بالعدسة فإذاً تكون هي بورة النقطة ك ولايجاد الارتباط الكائن بين المكانات وك , وكَ , وف يرمز بالحرف ب للبعد وك وبالحرف بَ للبعد وكَ وبالحرف ف للبعد وف ثم يقال اذا وصل بين البورة كَ ونقطة السقوط ﻫ بالمستقيم كَ ﻫ كان المثلثان الحادثان كَ كـ ﻫ , كَ وهـ متشابهين لتوازي قاعدتيهما فيحدث

كـ ﻫ : وهـ :: كَ كَ : وكَ

وحيث أن البعد كـ ﻫ يساوي البعد كـ و لشدة قرب النقطة ك من المحور والبعد وهـ يساوي البعد وف لصغر سمك العدسة يكون

ب : ف :: ب + بَ : بَ ومنه ينتج

ب بَ = ب ف + بَ ف وعليه يكون $\frac{1}{ب} + \frac{1}{بَ} = \frac{1}{ف}$

وهذا القانون هو عين الذي يحصل جبريا تكون النقطة الضوئية على محور العدسة وبمثل هذا يتوصل ايضاً لقوانين مشابهة للتي وجدت في مبحث البور التقديرية المختصة بالعدسات اللامة او المفرقة بمعنى أن ما قيل في بورة النقطة الضوئية التي تكون على المحور الأصلي يقال ايضاً في بورة النقطة الضوئية التي تكون على أحد المحاور الثانوية غير أنه يلزم ان لا تزيد الزاوية التي تحدث بينه وبين المحور الأصلي عن خمس عشرة درجة فان زادت عن هذا المقدار تعددت نقط تقاطع الأشعة المنكسرة بالمحور وكلما زاد مقدار الزاوية المذكورة تعددت نقط التقاطع وحصل ما يسمى بالخطأ الكروي كما يحصل ذلك في العدسات الكبيرة الفتحة

تنبيه

قد يحتاج لتغطية جزء في العدسة بحلقة معتمة تسمى بالحجاب الحاجز كما هو مشاهد في بعض الآلات البصرية لتشاهد المرئيات بها باوضح مما تكون عليه بدونها اذ بذلك لا تبقى الا الأشعة

الواقعة

الواقعة قرب المحور الممكن انكسارها وتمتنع رؤية الأشعة المتلونة بنفوذها من حوالى العدسة والجزء الخالى من العدسة عن هذا الحجاب هو المسمى بفتحة العدسة

الكلام على صور المرئيات المشاهدة بالعدسات

٧٨٦ يند لنعتبر اولا عدسة لامة كالمرسومة فى الشكل (٢٠٦) الذى فيه پ ك خط منير موضوع عموديًا على المحور وراء البورة الأصلية فالأشعة المنبعثة من النقطة پ تتقاطع بعد انكسارها فى نقطة رمزها پَ من المحور الثانوى پ پَ والأشعة المنبعثة من النقطة ك تتقاطع فى نقطة رمزها كَ من المحور الثانوى ك كَ والأشعة المنبعثة من النقط التى بين النقطة پ والنقطة ك تتقاطع فى نقط بين النقطتين پَ ، كَ فترى صورة المرئى حينئذ فى پَ كَ مقلوبة وتكون خطًا مستقيمًا عموديًا على المحور الأصلى اذا كان طول المرئى بعض سنتيمترات فقط ويسهل تحصيل النسبة الكائنة بين مقدار الصورة ومقدار المرئى وذلك بان يقارن المثلثان المتشابهان ــ پ و ك ، پَ و كَ بحيث يحدث منهما

$$\frac{\text{پَ كَ}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{پَ و}}{\text{پ و}} = \frac{\text{بَ}}{\text{ب}}$$

ثم تبدل الكمية بَ بمقدارها بَ = $\frac{\text{ب ف}}{\text{ب ــ ف}}$ المستخرج من اول قوانين العدسات اللامة فتكون النسبة المطلوبة هكذا $\frac{\text{پَ كَ}}{\text{پ ك}} = \frac{\text{ف}}{\text{ب ــ ف}}$

ويعلم من هذا القانون أن الصورة تكون أصغر من المرئى اذا كان ب > ٢ ف وتكون مثله اذا كان ب = ٢ ف وتكون اكبر منه اذا كان ب < ٢ ف ولنعتبر أيضًا عدسة لامة ونفرض أن المرئى موضوع كما فى الشكل (٢٠٧) فى پ ك بين البورة الأصلية والعدسة فتكون بورنقطه نقديرية وتكون صورته فى پَ كَ خلف پ ك وتكون معتدلة واكبر من المرئى

ويسهل تحصيل النسبة الكائنة بين مقدار الصورة ومقدار المرئي بأن يقارن المثلثان المتشابهان ب و ك ، ب و ك بحيث يحدث

$$\frac{ب ك}{ب ك} = \frac{ب و}{ب و} = \frac{ب}{ب}$$

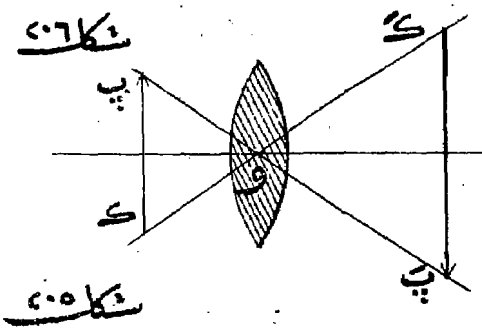
ثم تبدل الكمية ب بمقدارها ب = $\frac{ب ف}{ف - ب}$ المستخرج من القانون (٤) المتعلق بالعدسات اللامة فتحصل النسبة المطلوبة

$$\frac{ب ك}{ب ك} = \frac{ف}{ف - ب}$$

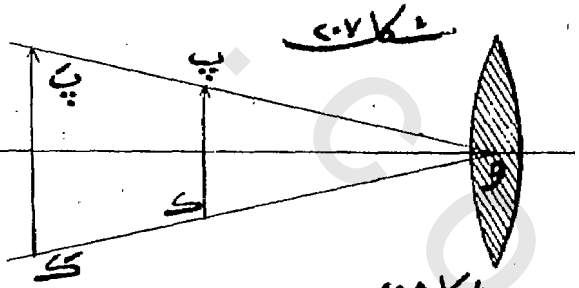
ويعلم من هذا القانون أن الصورة تكون دائماً أكبر من المرئي وانها تصير لانهائية اذا كان المرئي موضوعاً في البورة

ولنعتبر الآن عدسة مفرقة ونفرض ان المرئي موضوع في ب ك كما في (الشكل ٢٠٨) فصورته ب ك تكون تقديرية ومعتدلة وموضوعة بينه وبين العدسة وتعلم النسبة بين مقدار الصورة ومقدار المرئي بواسطة هذا القانون $\frac{ب ك}{ب ك} = \frac{ف}{ب + ف}$ الذي يعلم منه أن الصورة تكون دائماً اصغر من المرئي ثم ان الصورة التي تتكون بواسطة العدسة المفرقة لا يمكن تلقيها على حائل غير صقيل ولاجل مشاهدتها يلزم ان يضع الراصد عينه في اتجاه الاشعة المنكسرة واما الصورة التي تتكون بواسطة العدسة اللامة فيمكن تلقيها على الحائل المذكور لكونها حقيقية

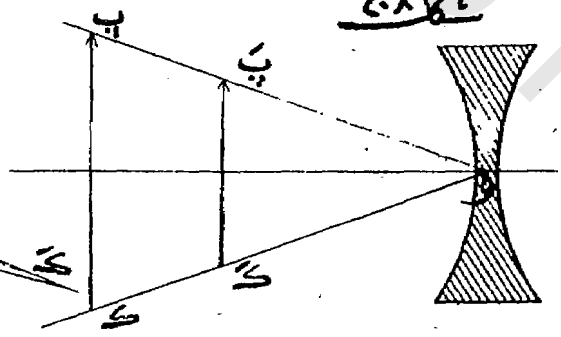
شكل ٢٠٦



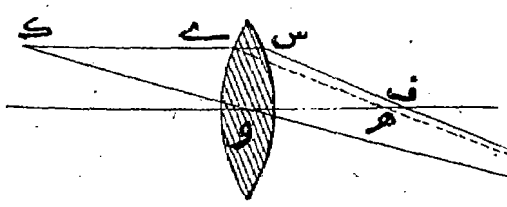
شكل ٢٠٧



شكل ٢٠٨



شكل ٢٠٥



الدرس السادس والأربعون

في انحلال الضوء وعود تركبه

بند ٤٨٧ اذا انسقط ضغث من الضوء الشمسي على منشور من الزجاج أو من مادة اخرى شفافة واستقبلت الصورة المنكسرة على حائل موضوع على بعد ما شوهد انها مستطيلية عمودية على اضلاع المنشور وانها مقسومة الى عدة مناطق متوازية ملوّنة بالوان مختلفة وهذه الصورة هي المسماة بالطيف الشمسي او الطبق الملون

ويبين في الطيف سبعة الوان اصليه وهي البنفسجي والنيلي والكحلي والاخضر والاصفر والبرتقالي والاحمر وفي بعض الأحيان لا يشاهد الا البنفسجي والأحمر وما بقي من الطيف يظهر ابيض ويسهل انفصال الالوان بادخال ضغث من الضوء الشمسي في خزانة مظلمة من فتحة فطرها سنتيمتر واحد (كما في الشكل ٢٠٩) ثم استقباله على منشور زاويته ٦٠ درجه بشرط ان يكون الحائل بعيدًا عن المنشور بقدر خمسة أمتار أو ستة وكلما كانت الفتحة اضيق كان انفصال الألوان اسهل واوضح والطيف المعتبر سواء كان واضحًا والوانه متميزة عن بعضها او غير واضح والوانه غير متميزة عن بعضها تميزًا جيدًا هو دائمًا محدود في جهة طوله بخطين متوازيين وفي جهة عرضه بنصفي محيطي دائرتين وترتيب الألوان فيه لا يتغير بالابتداء من طرف فان البنفسجي يكون دائمًا هو الاقرب لقاعدة المنشور والاحمر يكون دائمًا هو الاقرب لرأسه والانتقال فيه من لون الى تاليه يكون بتدريج غير بين وهذه النواتج يسهل تحقيقها بواسطة مناشير شفافة من أي مادة كانت وبأي زاوية مكسر

الكلام على ان الأشعة المختلفة الألوان تختلف في قبولها للانكسار

بند ٤٨٨ قابلية الانكسار ليست واحدة في أشعة الطيف الشمسي ويستدل على ذلك بشكل الطيف المستطيلي وذلك ان الأشعة المختلفة الألوان المتركب منها الطيف تكون بسقوطها على الوجه الأول من المنشور زوايا سقوط متساوية لكونها مجتمعة في ضغث واحد من الضوء الأبيض

فحينئذٍ يكون زوغانها مختلفاً لان قربها القاعدة المنشور مختلف فان البنفسجي اكثر زوغاناً من النيلي والنيلي اكثر زوغاناً من الكحلي والكحلي اكثر زوغاناً من الأخضر وهكذا فيعلم من ذلك ان البنفسجي اعظم قبولاً للانكسار من بقية الاشعة وان قابلية الانكسار تتناقص بالابتداء منه الى الأحمر ويتوصل ايضاً الى هذه النتيجة بعدة تجاريب المذكور منها ثلاث

الأولى ان يؤخذ مقوى اسود وشريطان ضيقان من الورق لون احدهما مخالف للون الآخر ويلصقان به بحيث يكون احدهما على امتداد الآخر ثم يؤخذ منشور ويجعل اضلاعه موازية لها ورأسه من اعلى وينظر لهما من ورائه فيشاهد ان كلا منهما ارتفع غير ان ارتفاعهما ليس واحداً لانهما لا يظهران على خط مستقيم واحد فاذا كان لون أحد الشريطين بنفسجياً ولون الآخر نيلياً ظهر الشريط الاول أعلى من الثاني واذا كان لون الشريط الأول نيلياً ولون الآخر كحلياً ظهر الأول اعلى من الثاني فهذا دليل على ان قابلية الانكسار تتناقص بالابتداء من البنفسجي

الثانية ان يؤخذ حائل كالمرموز له بالحرفين س ص (من الشكل ١٠٠) ويجعل فيه ثقب ضيق جداً ويوضع خلف المنشور اب ج ويثبت وراء الثقب منشور آخر أَبَ جَ وضعه بعكس وضع الأول ثم يدار المنشور الأول حول محور لكي يتوالى مرور الوان الطيف من ثقب الحائل وتعين النقط وسـ ت .... ز التي تسقط فيها بعد نفوذها من المنشور الثاني فيظهر حينئذٍ ان البنفسجي يتجه الى النقطة و التي هي اعلى من بقية النقط التي تتجه اليها بقية الألوان وان النيلي ثم البرتقالي ثم الأحمر فعلى هذا يكون الأحمر اسفلها والبنفسجي أعلاها

الثالثة ان يؤخذ منشور ويوضع في خزانة مظلمة على اتجاه ضيق من الضوء الشمسي وتجعل اضلاعه افقية ثم يتلقى الطيف رو (كما في الشكل ١١١) على حائل كبير رأسي ثم يؤخذ منشور رأسي ويوضع بعيداً عن الأول بجملة مستقيمات ويسقط عليه جزء من الأشعة المنكسرة من المنشور الأول ثم يتلقى الطيف رَوَ على الحائل المذكور فيظهر أن الطيف

الثانى يكون دائماً ملاقياً بالنسبة للطيف الأول وان البعد الكائن بين اللونين البنفسجيين اكبر من البعد الكائن بين اللونين الأحمرين فيل الطيف الثانى ر و دليل على أن المنشور الرأسى لايحدث عنه للاشعة المختلفة الألوان النافذة منه زوغان واحد واتجاه هذا الميل دليل على ان الزوغان يتزايد بالابتدآ من الأشعة الحمر الى الأشعة البنفسجية وقد تبين من التجاريب التى ذكرت ان الأشعة المختلفة التى يتركب منها أحد الوان الطيف قابليتها للانكسار ليست واحدة فان الشعاع البنفسجى الذى يكون فى نهاية الطيف أعظم انكساراً من الشعاع البنفسجى المتوسط فهو بالأولى أعظم من الشعاع البنفسجى المجاور للنيلى والشعاع الأحمر الذى يكون فى الطرف الثانى من الطيف أقل انكساراً من الشعاع الأحمر المتوسط فهو بالاولى أقل انكساراً من الشعاع الأحمر المجاور للبرتقانى ويشاهد هذا الاختلاف فى جميع الوان الطيف بالابتدآ من البنفسجى الأخير الى الأحمر الأخير ولهذا وجب أن يسلم ان الطيف مركب من عدة لاتحصى من الأشعة تختلف قابليتها للانكسار قلة وكثرة وان ضغث الضوء الأبيض الذى حدثت عنه تلك الألوان بانكسار عند نفوذه من المنشور مركب مما تركب منه الطيف

الكلام على ان الوان الطيف بسيطة

بند ٨٩ اى لون من الوان الطيف لايظهر منه لون آخر لابفعل الانكسار ولا بالانعكاس والدليل على ذلك انه اذا نفذ اللون الأحمر مثلاً من ثقب صغير جداً مصنوع فى مركز حائل ثم وجه الضغث المنفرد على منشور أو على عدسات لايظهر فى الضوء المنكسر لون آخر غير الأحمر مهما تعدد الانكسار ومهما كانت طبيعة الأجسام المكسرة وأيضاً اذا اسقط الضغث الأحمر على جسم ذى لون آخر ونفذ منه فانه يخرج بلونه الأصلى

والدليل على انه لايتغير بالانعكاس انه اذا وجه على أجسام مختلفة الألوان ظهرت تلك الأجسام بلونه فتكون حمراً بواسطة حمرة الطيف وصفراً بواسطة صفرته وخضراً بواسطة خضرته وبنفسجية بواسطة بنفسجيته وهكذا

في عود تركب الضوء الابيض

٣٠٩ يمكن تكوين الضوء الأبيض بواسطة الألوان المنفصلة بواسطة المنشور وذلك اما بتصير الأشعة المختلفة الألوان متوازية أو بتجميعها في نقطة واحدة فاذا اريد جعل الأشعة متوازية يؤخذ منشور آخر مماثل للأول في الجوهرية وزاوية التكسير ويوضع في اتجاه الطيف بعكس وضع الأول بعيداً عنه ببعض سنتيمترات بحيث يكون السطحان المتقاربان من المنشورين متوازيين فبهذا الوضع تخرج الحزمة الضوئية من المنشور الثاني بيضاء هية مع انها كانت ملونة بألوان الطيف عند خروجها من المنشور الأول

واذا اريد تجميع الأشعة في نقطة واحدة فالتستقبل على مرآة مقعرة أو على عدسة لامة كما في (الشكل ٢١٢) بعيدة عن المنشور ببعد ما فالأشعة المختلفة الألوان تجتمع في بؤرة المرآة أو العدسة فاذا وضع في هذه النقطة حائل أو لوح من زجاج غير صقيل كان بياض الصورة الملتقاة حينئذٍ ناقصاً غير ان حوافيها تكون ملونة تلوناً خفيفاً اذا كان تجمع الأشعة حاصلاً من العدسة وذلك التلون حاصل من عدم اجتماع الأشعة المختلفة الألوان في البؤرة لانها مختلفة الانكسار فلا تجتمع حقيقة في نقطة واحدة واذا كان الحائل قريباً من بؤرة السطح اللائم او بعيداً عنها لا يكون تركب الضوء كاملاً وتصير الصورة ملونة اما يسيراً أو كثيراً فاذا كان الحائل موضوعاً قبل البؤرة ظهرت الوان الطيف بترتيبها الطبيعي واما اذا كان موضوعاً بعدها ظهرت بعكس ما كانت عليه فاذا وضعت مرآة مستوية كالمرموز لها بالحرفين س ص في بؤرة العدسة او المرآة المقعرة عكست كلاً من الاشعة الملونة انعكاساً تابعاً لقوانين الانعكاس المعتاد ويرجع الطيف في ثوبه مقلوباً وقد صنعوا لبيان كيفية عود تركب الضوء قرصاً من خشب مرسوم صورته في (الشكل ٢١٣) قطره ٣٠ أو ٤٠ سنتيمتراً وهو مثقوب من وسطه ليسهل دورانه حول المحور المار بمركزه و ويلزم أن يكون محيطه ووسطه مسودين وتلصق عليه قطع صغيرة من ورق تلون كل واحدة بلون من الوان

الطيف

الطيف وتلصق عليه على حسب ترتيب الوانه وتكرر الألوان السبعة عدة مرات بشرط ان يكون عدد الالوان السبعة كاملاً في كل مرة فاذا جهز القرص على هذه الصورة وادير بسرعة اختلطت الالوان وظهر سطح القرص كانه مستور بورقة بيضاء ويقال في ايضاح هذه الحادثة انا احسسنا باحد هذه الألوان يبقى مدة زمن يساوي اقله الزمن الذي يستغرقه القرص في الدورة الواحدة بحيث نظن اننا نشاهد في زمن واحد دائرة بنفسجية ودائرة نيلية ودائرة كحلية ودائرة صفراء وهكذا وينبني على هذا ان الألوان السبعة كافية لتكوين الضوء الابيض والسبب في كون القرص يظهر دائماً غير شاهق البياض هو أن الوان القطع الورقية ليست صافية كالتي في الطيف فاذا لم يختلط من الوان الطيف الا بعضها حصلت الوانه لها بعض شبه بالالوان البسيطة فانه اذا اختلط الأصفر بالأحمر تولد البرتقالي وان اختلط الأصفر بالكحلي تولد الأخضر وان اختلط الأصفر بالأخضر تولد الأزرق وهكذا وبهذا الاختلاط تتحصل جملة الوان مختلفة

الكلام على الوان المرئيات

سند ٢٩١ قد علم مما سبق ان انكسار الأشعة من الأجسام الشفافة وانعكاسها من المعتمة متفاوت بالقلة والكثرة فان الأجسام التامة الشفافية كالزجاج الصافي لشدة صفائها قد لا ترى حتى تعكس الأشعة واذا لم يوجد الضوء لا ترى المرئيات اصلاً فان وجد غير كاف لم يمكن تمييز الوانها وترى كلها سوداء فظهر من هذا أن الألوان غير موجودة في ذات المرئيات بل اعارها لها الضوء ورؤيتنا الألوان في الأجسام انما هو بوجود خاصة فيها تعكس الى ابصارنا الألوان من الضوء واختلاف الألوان في الأجسام واختلاف افراد كل واحد منها قوة وضعفاً انما يكون على حسب استنارتها من الضوء الذي يأتي اليها

الكلام على خواص الطيف

سند ٢٩٢ قد علم مما سبق سبب العلم بوجود الوان غير وهي مثل ان شدة الضوء الأصفر اعظم من شدة

الضوء في بقية الوان الطيف وأن شدة الضوء في البنفسجي اقل منها في غيره وشدة الحرارة المنكسرة بانكسار الاشعة الشمسية تتغير في الطيف فهي في البنفسجي اقل منها في غيره وتتزايد في بقية الألوان بالابتداء منه

وقد علم من كثير من الحوادث ان الضوء الشمسي يؤثر في كثير من الأجسام تأثيرًا كيماويًا ومن امثلة ذلك كلورور الفضة واول كلورور الزئبق فان كلا منهما يسود بتأثير الضوء فيه وبتأثيره في الفوسفور الشفاف يصير مُعتمًا بل قد يكون سببًا في اتحاد بعض الأجسام كالكلور مع الهيدروجين فانهما يتحدان ببعضهما اذا وضعا في آناء شفاف وعُرِّض الاشعة الشمسية غير أن الاشعة المختلفة الالوان تختلف تأثيرها الكيماوي بالقلة والكثرة وذلك ان الاشعة البنفسجية تأثيرها في كلورور الفضة اعظم من تأثير الأشعة الاخرى فيه

في خطوط الطيف

سند ٢٩٣ يتبين في الطيف الشمسي عدة خطوط صغيرة سوداء او قريبة من السواد متقاربة من بعضها تقسم الطيف باتجاهات عمودية على اتجاهه وأول من اظهر هذه الخطوط المعلم فرونهوفير وسماها بخطوط الطيف وتوجد دائمًا في اجزائه الاشد لمعانًا من غيرها ولا يمكن مشاهدتها الا بواسطة نظارة معظمة اكرومائية بحيث يكون تعظيمها للمرئي كبيرًا وذلك لشدة دقتها وتقاربها من بعضها ومتى اريد ذلك يدخل ضفث من الضوء الشمسي في خزانة مظلمة من كوة طويلة ضيقة ويتلقى على بعد ما على منشور اضلاعه موازية لاتجاه طولها ثم توضع النظارة خلف المنشور في الحزمة المنكسرة وتشير بالتراقي على سائر اجزاء الطيف فعند ذلك يسهل تعيين الخطوط السوداء التي تكون في اللون الأحمر او غيره ثم ان المنشور الذي يستعمل لهذه التجربة يجب ان يكون منه مادة صافية جيدًا مجردة من العروق والغبش لكونها يشتتان الضوء بغير انتظام فلا يكون في الوان الطيف تجانس وقد بين المعلم فرونهوفير بعدة تجاريب أن عدد خطوط الطيف الشمسي وشكلها

ووضعها واحد مهما كانت زاوية تكسير المنشور وماديته وأن الطيوف الحادثة من ضوء الكواكب السيارة ومن ضوء القمر ومن ضوء السماء تشبه الطيوف المتكونة بواسطة الضوء الشمسي الساقط على المناشير مباشرة بخلاف الطيوف المتكونة بواسطة الضوء الكهربائي فإنه يحدث عنه خطوط زاهية براقة بدل الخطوط السوداء وضوء النجوم الثوابت يحدث عنه خطوط سوداء كخطوط الطيف الشمسي لكنها تختلف عنها في العدد والوضع وقد عدّ المعلم المذكور في الطيف الشمسي أكثر من ٦٠٠ خط وبحث عن دليل الانكسار لسبعة منها بحسب الجواهر المكسرة وكيفية تعيين دليل الانكسار الخاص بأي واحد منها كتعيين الدليل الخاص لأي شعاع من أشعة الطيف أي ما يكون بواسطة زاوية تكسير المنشور والزوغان الأصغر

في تعيين مقدار قوة التمييز

٢٩٩ قوة تمييز الضوء ليست واحدة في الأجسام المختلفة فهي قليلة في الهواء والغازات وكثيرة في المائع وأكثر منها في الكروثن والفلنت وبعض الأجسام الجامدة واتساع شكل الطيف قلة وكثرة يدل على زيادة أو نقص قوة تمييز الضوء من هذه الأجسام

ثم أن مقدار قوة التمييز يقاس بالفرق بين دليل انكسار الشعاع البنفسجي ودليل انكسار الشعاع الأحمر

(جدول مشتمل على مقدار قوة التمييز في بعض الاجسام)

فلنت كلاس	٠٫٠٤٣٣
كروثن كلاس	٠٫٠٢٤٦
ستر منيتا	٠٫٠٢٣٣
ماء	٠٫٠١٣٢

وقد يطلق اسم قوة التمييز لجسم على الخارج من قسمة مقدار قوة تمييزه للضوء على الفرق

بين دليل انكساره المتوسط والواحد والمراد هنا بدليل الانكسار المتوسط دليل الانكسار الخاص بالشعاع المتوسط في الطيف

(في تلون المرئيات المشاهدة خلف المنشورات)

٩٥٠ ما يشاهد من تلون المرئيات الكائنة خلف المنشورات يسهل توضيحه باختلاف الاشعة المختلفة الألوان في قابلية الانكسار ولنتكلم على بعض تلك الحوادث فنقول اذا اخذ شريط ضيق العرض جدًا من الورق الأبيض ووضع على مستو اسود ونظر له من خلف منشور رأسه من اعلى واضلاعه موازية له شوهد مرتفعًا وملونًا بجميع الوان قوس قزح وظهر البنفسجي في الجزء العلوي من الصورة وبقية الألوان تظهر تحته على حسب ترتيبها في الطيف الشمسي وهذه الحادثة نتيجة من الأصول التي تقدم شرحها وذلك أن أشعة الضوء الأبيض الذي ينبعث من الورق يحمل تركيبها كالاشعة الشمسية الى سبعة الوان أصلية وكل منها يرتفع بسبب تأثير المنشور فيه لان رأسه من اعلى غير انها تتفاوت في الارتفاع لتفاوتها في قابلية الانكسار فالبنفسجي الذي هو اكثرها قبولًا للانكسار يظهر اعلى من بقية الالوان ويظهر النيلي تاليًا له ثم الكحلي ثم الاخضر ثم الأصفر ثم البرتقالي ثم الأحمر واذا اخذ شريط من الورق عرضه بعض سنتيمترات بدل الشريط المذكور ونظر له من خلف المنشور ظهرت الصورة بيضاء من نحو وسطها وملونة من نحو حوافيها فقط ويقال في توضيح هذه الحادثة ان الشريط الذي عرضه كما ذكر من حيث انه معتبر مكونًا من عدة كثيرة من الاشرطة الأصلية يتكون عنه جملة طيوف صغيرة موضوعة على ترتيب واحد متقاربة في القرب من رأس المنشور ويتركب منها طيف واحد اذا كانت الألوان المتناظرة مصطفة فوق بعضها بدون ان يزيد واحد منها عن نظيره على خلاف الواقع لان الاصطفاف غير تام وهذا الاحالة هو السبب في البياض المشاهد في وسط الصورة وهو السبب أيضًا في تلون المشاهد بالقرب من حوافيها وبيان ذلك أن يقال ان اللون البنفسجي من الطيف

الاصلي هو الذي يوجد منعزلاً عن الالوان الأخر واما اللون النيلي منه فانه يصير مستوراً باللون البنفسجي من الطيف الثاني واللون الكحلي منه يصير مستوراً باللون النيلي من الطيف الثاني وباللون البنفسجي من الثالث واللون الأخضر منه يصير مستوراً بالكحلي من الثاني وبالنيلي من الثالث وبالبنفسجي من الرابع وهكذا فالالوان المصطفة فوق بعضها تقرب شيأً فشيأً من ان تكون مساوية في العدد لعدد الالوان التي باجتماعها يتكون اللون الابيض بحيث ان الصورة يجب ان تظهر بهذا اللون بالابتداء من حدٍ معين غير انها تصير ملونة بالقرب من حوافيها فقط فحافتها العليا تظهر ملونة باللون البنفسجي والسفلى بالاحمر ويشاهد تحت البنفسجي بقليل لون مكون من امتزاج البنفسجي بالنيلي وفوق الأحمر بقليل لون مكون من امتزاج الأحمر البرتقالي واذا اخذ شريط عريض من الورق الاسود وجعل على مقر ابيض ونظر له من خلف المنشور شوهدت حوادث بعكس السابقة أعني أن وسط الصورة يظهر اسود بالكلية والالوان التي تظهر تكون على هذا الترتيب (احمر) (احمر برتقالي) (احمر برتقالي اصفر) وهكذا نحو الجهة العليا مع انها تكون (بنفسجي) (بنفسجي نيلي) (بنفسجي نيلي كحلي) وهكذا نحو الجهة السفلى ويقال في توضيح وضع هذه الالوان أن الطيوف الاصلية ناتجة من المسافة البيضاء المحددة للشريط الاسود

الدرس السابع والاربعون
في الاكروماتيسم

بند ٣٩٦ معنى الاكروماتيسم عدم اللون والمراد بالاكروماتيسم هنا محو الألوان التي تشاهد محيطة بصور المرئيات المشاهدة من وراء المنشورات أو العدسات فيقال للمناشير اكروماتية اذا أزالت اسمة اللون بدون ان تحلله ويقال للعدسات اكروماتية

حين يكون لون الصورة التي تحدث في بؤرتها من نوع لون المرئي ثم ان المناشير الاكروماتية لاتتكون الا من جملة مناشير شفافة مكونة من جواهر مختلفة والعدسات الاكروماتية كالمناشير لاتتكون الا من جملة عدسات مختلفة الجوهرية

الكلام على كيفية تصيير المناشير اكروماتية

٩٧٣ المنشور الاكروماتي يتركب عادة من منشورين احدهما من المادة المسماة فلانت كلاس والآخر من المادة المسماة كروون كلاس وكيفية ماذكر ان يطبق احد وجهي المنشور الاول على احد وجهي المنشور الثاني بان يجعل وضع زاوية الاول بعكس وضع زاوية الثاني ولتحصيل قانون الاكروماتيسم نبحث عن الارتباط الذي يوجد بين الزاويتين المكسرتين من هذين المنشورين فنقول ليفرض لمزيد الاختصار ان الوجهين اب ، اَبَ متواثران غير متماسين (كما في الشكل ١٤٢) ثم نبحث اولاً عن مقدار الزوغان الذي يحدثه الشعاع س ـ ي يمر من المنشورين فنشاهد ان الزوغان د = هـ ز في مقدار الفرق غ - غَ الكائن بين الزوغانين الحادثين من المنشورين فحينئذٍ يحصل مقدار الزوغان د بمجرد معرفة مقدار كل من الزوغانين غ ، غَ فاذا فرض ان الشعاع س ـ ي بعيد جدًا عن الخط العمودي على وجه السقوط لايكون مقدار الزوغان بسيطاً واما اذا فرض انه قريب جدًا من الخط العمودي كان مقدار الزوغان بسيطاً جدًا لانه يمكن بواسطة هذا الفرض ان نأخذ زوايا السقوط والانكسار بدلا جيوبها في المنشور الاول الذي هو اب حـ يحدث

غ = ي + ي - ا (كما في شد)

وحيث ان ي = ل ر ، ي = ل ر

يكون ي + ي = ل (ر + ر) = ل ا

فحينئذٍ يكون غ = ل ا - ا = ا (ل - ١)

ومن المنشور الثانى الذى هو أَبَ جَ يحدث

$$\text{غ}' = \text{ا}' (\text{ل}' - ١)$$

ويعبر بمقدار الزوغان د هكذا

$$\text{د} = \text{ا} (\text{ل} - ١) - \text{أ} (\text{ل}' - ١)$$

وبهذا القانون يتعين مقدار زوغان أى شعاع لونه معين بعد معرفة دليلى الانكسار لَ, ل الخاصين به وبهذا القانون يسهل التوصل للشرط الذى به يتحصل الاكر وماتيسم ولتحصيله يُعتبر الشعاعان الطرفيان اى الأحمر والبنفسجى ثم يرمز بالرمز دَ لمقدار زوغان الاول وبالرمز دٌ لمقدار زوغان الثانى وبالحرف م لدليل انكسار الاول فى المنشور الاول وبالحرف س لدليل الانكسار الثانى فيه وبالحرف مٌ لدليل انكسار الاول فى المنشور الثانى وبالحرف سَ لدليل انكسار الثانى فيه فيتحصل

$$\text{دَ} = \text{ا} (\text{م} - ١) - \text{أ} (\text{مَ} - ١)$$
$$\text{دٌ} = \text{ا}' (\text{س} - ١) - \text{أ}' (\text{سَ} - ١)$$

وحيث انه يجب حيثما يكون الاكر وماتيسم حاصلًا ان تخرج الاشعة الحمر أبعد نفوذها من المنشورين موازية للاشعة البنفسجية بعد نفوذها منهما بأن يكون دَ = دٌ وعليه يكون

$$\text{أ} (\text{سَ} - \text{مَ}) = \text{ا}' (\text{س} - \text{م}) \quad \text{ومنه ينتج أن}$$
$$\frac{\text{ا}'}{\text{ا}} = \frac{\text{س} - \text{م}}{\text{سَ} - \text{مَ}}$$

وهو الارتباط الذى يجب وجوده بين الزاويتين ا, اَ لتصير الاشعة الحمر البازغة من المنشور الثانى موازية للبنفسجية البازغة منه فحينئذ اذا جعل لاحدى هاتين الزاويتين مقدار اختيارى تعين بالسهولة المقدار اللازم جعله للاخرى ليتحصل من المنشورين اكر وماتيسة الشعاعين الاحمر والبنفسجى واذا وضع كل من المقدارين ا, اَ فى مقدار الزوغان الذى هو دَ أو دٌ علم بالسهولة أن الزوغان ليس معدومًا وعليه لاتكون الأشعة البازغة

موازية للاشعة الساقطة

وينبغي ان يعلم انه اذا استعمل منشوران فقط لا يكون الاكرومانيسم كاملا اصلا لان نسبة الزاويتين أ ، أ الموافقة لتوازي الأشعة المتطرفة ليست عين النسبة الموافقة لتوازي الأشعة المتوسطة وذلك ان النسبة بين قوى تميز أشعة الطيف المتطرفة المرموز لها بهذه الكمية $\frac{ن - م}{ن' - م'}$ لا تساوي النسبة بين قوى تميز أشعته المتوسطة وبالجملة لا يمكن بواسطة منشورين تصيير اشعة الطيف كلها متوازية بل الممكن تصيير أشعة أحد الوان الطيف موازية لاشعة اي لون من بقية الوانه

وحين يراد جعل الاكرومانيسم لشعاعين فقط يختار عادة الشعاع الأخضر والشعاع البرتقالي لان شدة الضوء في كل منهما اكبر منها في أشعة الطيف المتطرفة

ويمكن باستعمال عدة مناشير جعل عدة اشعة مختلفة الألوان اكرومانية ولا يضح ذلك يرمز بالحرف أ لزاوية تكسير منشور وبالرمز أ' لزاوية تكسير منشور آخر وبالرمز أ'' لزاوية تكسير منشور ثالث وهكذا وبالحرف ح لدليل الانكسار الخاص بمادة المنشور الأول وبالرمز ح' لدليل الانكسار الخاص بمادة المنشور الثاني وبالرمز ح'' لدليل الانكسار الخاص بمادة المنشور الثالث وهكذا ويفرض أن شعاعا ضوئيا نفذ من مجموع هذه المناشير وانه مائل قليلا على الاعمدة المقامة من نقط السقوط فيكون مقدار الزوغان الحادث من المنشور الاول هكذا أ (ح - ١)

والحادث من المنشور الثاني هكذا أ' (ح' - ١)

والحادث من المنشور الثالث هكذا أ'' (ح'' - ١) وهكذا

حينئذ يكون الزوغان الكلي مبينا بهذا القانون

ز = أ (ح - ١) + أ' (ح' - ١) + أ'' (ح'' - ١) + ...

وهذا على فرض ان زوايا تكسير المناشير موضوعة في جهة واحدة واما اذا كان بعضها في جهة مضادة لجهة البعض الاخر لزم ان تؤخذ الحدود المشتملة على الزوايا الكائنة في جهة واحدة باشارات متحدة أي موجبة فقط أو سالبة فقط وان تؤخذ الحدود المشتملة على الزوايا الكائنة

في الجهة

فى الجهة الاخرى باشارات متحدة اى سالبة فقط او موجبة فقط

ويعلم من هذا القانون انه يمكن اكروماتية اشعة مختلفة الالوان عدد الوانها بعدد المناشير المستعملة لذلك فاذا اريد اكروماتية ثلاثة اشعة يؤخذ ثلاثة مناشير وتجعل زاوية تكسير احدها كالمنشور المتوسط مثلاً فى جهة مضادة للجهة التى فيها زاويتا تكسير المنشورين الباقيين فيتحصل

$$د = ا(م-١) - أ(م-١) + أ''(م''-١)$$
$$د' = ا(س-١) - أ(س-١) + أ''(س''-١)$$
$$د'' = ا(ل-١) - أ(ل-١) + أ''(ل''-١)$$

ن د ن د' ن د'' رموز لانواع الزوغان الكلى الخاص بكل شعاع من الاشعة المراد جعلها اكروماتية و م م' م'' دلائل الانكسار الحادثة للشعاع الاول من المناشير الثلاثة و س س' س'' رموز لدلائل الانكسار الحادثة للشعاع الثانى منها و ل ل' ل'' رموز لدلائل الانكسار الحادثة للشعاع الثالث منها وحيث انه ينبغى ان تخرج الاشعة الثلاثة متوازية فيلزم ان يكون

$$د = د' = د''$$ وعليه يكون

$$ا(م-س) - أ(م'-س') + أ''(م''-س'') = ٠$$
$$ا(م-ل) - أ(م'-ل') + أ''(م''-ل'') = ٠$$

فاذا جعل لاحدى الزوايا الثلاث التى هى ا ، أ ، أ'' مقدار اختيارى وحسب بواسطة هذه المعادلات مقدارا الزاويتين الآخرين تحصلت جملة مكونة من ثلاثة مناشير بها تتم اكروماتية الاشعة الثلاثة المعينة وبهذه الكيفية يمكن تصيير اربعة اشعة اكروماتية بواسطة اربعة مناشير وخمسة بواسطة خمسة مناشير وهكذا لكن يكتفى عادة باكروماتية ثلاثة اشعة والاشعة المختارة هى الاحمر والاصفر والبنفسجى

الكلام على العدسات الاكروماتية (شكل ١١٥)

٤٩٨ قد علم مما سبق ان الضوء يتحلل بنفوذه من العدسات كما يتحلل بنفوذه من المناشير فينتج من هذا ان الاشعة المختلفة الالوان لا تكون بورها في نقطة واحدة وان المرئيات المشاهدة بواسطة العدسات لا ترى بلونها الخاص بها بل ترى محاطة بالوان قزحية فالعدسات الاكروماتية ترى بها المرئيات مجردة عن هذه الالوان والعدسة الاكروماتية تتركب عادة من عدستين احداهما محدبة الوجهين متخذة من المادة المسماة كروون كلاس والاخرى مقعرة الوجهين متخذة من المادة المسماة فلنت كلاس بجعل احد وجهي العدسة المقعرة على احد وجهي العدسة المحدبة بحيث ينطبقان انطباقا كاملا وللبحث عن الشروط التي لابد منها لتحصيل الاكروماتيسم من العدسة المكونة من عدستين بهذه المثابة يرمز بالرمزين ر و ر لنصفي قطري وجهي العدسة المحدبة الوجهين المرموز لها بالحروف م ا ب م من (الشكل ١١٥) وبالرمز ر لنصف قطر السطح المقعر م أ م ويجعل لنصفي القطرين ر و ر مقداران معينان ثم يبحث عن المقدار الذي اذا جعل لنصف القطر ر صير العدسة المكونة من العدستين المذكورتين عدسة لامة اي تلم شعاعين مختلفي اللون الى نقطة واحدة ولتكن پ نقطة ضوئية كائنة على المحور ن پ ے شعاعا ساقطا ن ے پ شعاعا منكسرا ے پ بورن الاشعة المبثثة من النقطة پ فيبحث اولا عن الارتباط الكائن بين بعد النقطة الضوئية عن العدسة وبعد بورتها عن العدسة المذكورة وانصاف اقطار السطوح الكروية المحددة للعدستين وبين دليلي الانكسار فنقول

اذا مر الشعاع ے س من العدسة المحدبة الوجهين الى الهواء بدل مروره منها الى العدسة المقعرة الوجهين اخذ الاتجاه س پ متباعدا عن الخط العمود

س ك اكبر من بُ اعد الشعاع س ك عن العمود المذكور وحينئذٍ يكون

$$\frac{1}{ب} + \frac{1}{ب'} = (ن - ١)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر'}\right)$$

وفي هذا القانون ب = ا پ ، ب' = ب پ فاذا اعتبر الآن شعاع ضوئي منبعث من النقطة پ واصل الى النقطة ے فانه يأخذ الاتجاه ے س ے پ فاذا مر من العدسة المقعرة الوجهين الى الهواء بدل مروره من العدسة المقعرة الوجهين الى العدسة المحدبة الوجهين فانه يأخذ الاتجاه س ط متباعداً عن الخط العمودي جـ س اكثر من تباعد الشعاع س ے عن العمود المذكور وحينئذٍ يكون س ط امتداد پ س والنقطة پ تكون بورة النقطة پ وتتضح حقيقة هذا الناتج اذا اقيم الدليل على مساواة الزاويتين ط س ح ، ك س پ ولبيان ذلك نرمز بالحرف ب للزاوية الأولى وبالحرف ب' للاخرى وبالحرفين ا ، ا' لزاويتي السقوط على الوجه م ب م' فيتحصل

$$\left.\begin{array}{l} \text{حا } ب = م \text{ حا } ا \\ \text{حا } ب' = م' \text{ حا } ا' \end{array}\right\} \text{ومنهما ينتج } \frac{\text{حا } ب}{\text{حا } ب'} = \frac{م}{م'} \times \frac{\text{حا } ا}{\text{حا } ا'} \text{ وقد تقدم أن}$$

$\frac{\text{حا } ا}{\text{حا } ا'} = \frac{م'}{م}$ فحينئذٍ اذا وضع $\frac{م'}{م}$ بدل $\frac{\text{حا } ا}{\text{حا } ا'}$ في المعادلة العليا آل طرفها الثاني الى الوحدة ومنه يعلم أن حا ب = حا ب' أي أن ب = ب' اذا تقرر ذلك ورمز بالرمز پ' للبعد ا' پ' وبالرمز پ للبعد ب پ المساوي ا پ . ولوحظ أن النقطة پ' بورتها تقديرية في النقطة پ تحصل هذا الارتباط

$$\frac{1}{پ'} - \frac{1}{پ} = -(ن' - ١)\left(\frac{1}{ر''} + \frac{1}{ر'}\right)$$

فاذا اضيفت هذه المعادلة الى السابقة انمحت الكمية پ' والحاصل الجمع الى

$$\frac{1}{پ} + \frac{1}{پ'} = (ن - ١)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر'}\right) - (ن' - ١)\left(\frac{1}{ر''} + \frac{1}{ر'}\right)$$

وهذا هو الارتباط الذى تعرضنا للبحث عنه وهو يطابق لاى شعاع دليلا انكساره ؟ و ؟ً معينان فاذا فرض ان الشعاع المذكور هو البنفسجى تحصل كذلك ارتباط خاص بالشعاع الأحمر صورته هكذا

$$\frac{1}{پ} + \frac{1}{پ''} = (م-1)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر''}\right) - (م'-1)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر''}\right)$$

و م و مَ دليلا انكساره و پ'' بعد بورته عن العدسة المركبة وحيث انه يلزم ان تكون بورتا الشعاع الأحمر والبنفسجى فى نقطة واحدة يلزم ان يكون پ'' = پ'' وحينئذ اذا سوى الطرفان الثانيان من المعادلتين السابقتين واختصرت المعادلة الناتجة حصل

$$(؟ - م)\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر''}\right) = (؟' - م')\left(\frac{1}{ر} + \frac{1}{ر''}\right)$$ ويستخرج من هذه المعادلة

$$ر'' = \frac{(؟' - م')\, ر\, ر'}{(؟ - م)(ر + ر') - (؟' - م')ر}$$ وهذا هو المقدار اللازم جعله لنصف قطر الطيلسان م أ ح لكى تصير بورا الأشعة الحمرا والأشعة البنفسجية فى نقطة واحدة

واعلم ان الاكروماتيسم يكون فى العدسات كما هو فى المناشير أعنى أنا نحاد أشعة الطيف المتطرفة لا يتسبب عنه اتحاد الأشعة المتوسطة فلتحصيل الاكروماتيسم الكامل يلزم عدد من العدسات بقدر انواع أشعة الطيف ومع هذا فيندر استعمال اكثر من عدستين لان الاكروماتيسم الذى ينتجانه يكفى فى التجاريب

الدرس الثامن والاربعون

الكلام على العين وكيفية الابصار شكل ١٦

سد ٢٩٩ العين عضو مكون من اجزاء حافظة واجزاء اصلية فالاجزاء الحافظة هي الحاجبان ووظيفتهما تلطيف الاشعة الضوئية الآتية الى المقلتين

والاجفان وهي اغطية متحركة ووظيفتها حفظ المقلتين من دخول الاجسام الغريبة ومن وصول الضوء الكثير اليهما

والاهداب ومنفعتها رد الاشعة الضوئية وحفظ المقلتين من دخول الاجسام الغريبة فيهما واما الاجزاء الاصلية فالمقلة نفسها وهي مكونة من الامام الى الخلف من جواهر مختلفة القوام كلها مكسرة للضوء لا على استواء وهي عدة اجزاء

اولها غشاء ابيض ثخين متين سلس يسمى بالقرنية المعتمة او الصلبة ترتبط به عضلات لتحريك المقلة وتغيير شكل اوضاعها

وثانيها القرنية الشفافة وهي الدائرة المتلونة بما خلفها التي تقع عليها الاشعة الضوئية وتنفذ فيها الى باطن المقلة

وثالثها القزحية وهي غشاء متحرك مختلف اللون فقد يكون اسود او اسمر او ازرق او لخضر مرتبط بالقرب من حواشي الشفافة وفي وسطه ثقب يسمى بالحدقة وهو قابل للانقباض والانبساط ومنفعته منع زيادة الاشعة الضوئية

ورابعها البللورية وهي مادة محدبة الوجهين كالعدسة البللورية المنظر محفوظة في غشاء شفاف مخصوص بها موضوعة في مقدم الجسم الزجاجي

وخامسها الرطوبة الزجاجية المساوية للجسم الزجاجي وهو مكون من جملة غطاء شفافة الجدران ممتلئة برطوبة تشبه مذاب الزجاج فلذا سميت بالزجاجية

وامام القرنية وخلفها مسافتان صغيرتان تسميان بحر انتي المقلة احداهما مقدمة والاخرى خلفية مملوءتان بسائل صاف سارٍ فيهما يسمى بالرطوبة المائية والسطح الباطن من القرنية المعتمة (الصلبة) مغشى بغشاء رقيق يسمى المشيمية مستورا بمادة سوداء تكون للمقلة بمنزلة خزانة مظلمة ويلتصق بالمشيمية من الباطن الطبقة الشبكية وهي غشاء رقيق مكون من انفراش العصب البصري الآتي لباطن المقلة من الجزء السفلي من المحور القدم المخالف للمقلة وجملة المقلة معتبرة كعدسة اكروماتية حتى لا تظهر المرئيات للبصر محاطة بالوان الطيف وتلك العدسة مكونة من الرطوبة المائية والمادة البلورية وباطن المقلة من خلف القرنية عبارة عن خزانة مظلمة تجتمع فيها صور المرئيات والشبكية لكونها غشاء عصبيا تدرك الاشكال المحمولة بالاشعة الضوئية المنعكسة من المرئيات بواسطة العصب البصري الآتية هي منه وتوصل ما ادركته للمخ وقيل ان وظيفة الجسم الزجاجي من حيث انه منقسم الى حجرات خلايا ان تمكن فيه الاشعة انكسارا متنوعا للتنشر على الشبكية

والزاوية البصرية ما كانت رأسها في الحدقة وضلعاها الشعاعين الآتيين من المرئي الى الحدقة ومتى سقط الضوء في المقلتين فان جزءا منه تمتصه الاجزاء الحافظة لها وجزء يدخل في باطنها وينطبع في الشبكية فيحدث من ذلك الابصار لانه متى سقطت حزمة من الاشعة على المقلة نفذ ما كان منها في المركز في القرنية الشفافة ثم في الرطوبة المائية فتنقبض الحدقة او تنبسط على حسب قوة الاحساس لينفذ فيها من الاشعة المقدار اللازم وصوله للبلورية وجزء منها ينفذ من القرنية ويقع على الوجه الظاهر من القرنية فينتشر به والجزء الذي في مركز الحزمة الضوئية ينفذ من الحدقة وقيل انه يكون اكروماتيا في حال مروره في الرطوبة المائية ثم في البلورية وبمقتضى ما ذكر من ان صور المرئيات ترى فيما بعد العدسات منقلبة انها هنا

تقع

تقع على الشبكية منقلبة وقد حقق ذلك بتجربة هي ان تؤخذ مقلة ثور أو كبش طرية
وترقق من الخلف حتى تصير شفافة ثم يسد بها ثقب خزانة مظلمة ويجعل خلف
المقلة من خارج الخزانة مصباح فيرى من يكون في داخل الخزانة صورة المصباح
منقلبة في نفس المقلة المرقق وبالجملة فاذا اعتبرت المقلة اعتبارا طبيعيا كانت بمنزلة
عدسة ينكسر فيها الضوء واذا اعتبرت اعتبارا فيزيولوجيا ونظر الى ادراك الانسان
بها الصور المرئيات وقوة تمييز اجزائها خصوصا البعيد منها مع صغر مقلته عسر
الوقوف على حقيقة ذلك اذ كيف يعرف السبب الذي به تبصر المرئيات على بعد
من الفراسخ كالكواكب البعيدة عنا فانا نراها بجزء ناري قريب منا وكيف يدرك
السبب لرؤية مرئيات كثيرة بمرة بسرعة عظيمة امام البصر مع انه يحتاج في ادراكها
الى ان كل نقطة من سطح كل جسم من تلك المرئيات تبعث الى باطن المقلة اشعة
كثيرة على هيئة مخاريط قواعدها تلي المرئيات ورؤوسها تلي المقلة وكيف تعلم حكمة
كوننا نرى اشعة المرئيات كالكواكب تأتي الينا على خط مستقيم مع انه لابد من انكسارها
في طبقات الهواء ولا شك ان الفيزيولوجية اي علم وظائف الاعضاء يضيق عن
الوقوف على حقيقة ذلك وادراك كنهه ثم ان بعض الناس وهو نادر لا يرى
بعض الالوان فقد حكي من مدة قريبة ان رجلا خياطا انكليزيا لم يرلون الحمرة
مدة حياته وكأن الاجسام الحمر لا وجود لها في بصره وهذا يعسر تفسير علته
كما يعسر تفسير علة كون الانسان اذا شاهد جسما نيرا كالشمس او جمرة حمراء تدور
بسرعة يبقى شاهدا لذلك مدة بعد زواله عن نظره ويبقى في الشبكية احساس
به ويشترط في رؤية المرئيات مضي زمن كاف ولو قليلا وهي امام البصر
والا فلا يمكن ادراكها فانا لا نرى قلة المدفع المقذوفة منه بالبارود لان زمن
مرورها امام البصر كلا زمن

وصورة العين مرسومة في (الشكل ١٦) فالقرنية المعتمة المسماة ايضا بالصلبة مرموز لها بالحروف ا ب والقرنية الشفافة مرموز لها بالحروف ا ه ب والقرنحية مرموز لها بالحرفين ا ب والبلورية مرموز لها بالحرفين م م

بيان دلائل الانكسار الخاصة بالمواد الشفافة التي في المقلة

قد عين العلم بروستير دلائل الانكسار الخاصة بالاجزاء الشفافة الموجودة في المقلة وجعلها ليل انكسار الواحد مقارنة ووضعها في هذا الجدول

ماء	١٫٣٣٥٨
رطوبة نهائية	١٫٣٣٥٦
رطوبة زجاجية	١٫٣٣٩٤
الغشاء الخارجي المظروف في الجسم البلوري	١٫٣٧٦٧
وسط الجسم البلوري	١٫٣٩٩٠
الانكسار المتوسط للبلوري	١٫٣٨٣٩

بيان انصاف اقطار وابعاد الاجزاء المختلفة الموجودة في المقلة

نصف قطر انحنا الصلبة او القرنية المعتمة	من	١٠	الى ١١ ميلليمترا
نصف قطر انحنا القرنية الشفافة	من	٧	الى ٨٠
نصف قطر انحنا الوجه الخلفي من البلوري	من	٧	الى ١٠
نصف قطر انحنا وجهه المقدم	من	٥	الى ٦٠
قطر القرنحية	من	١١	الى ١٢

قطر الحدقة

قطر الحدقة من ٣ الى ٧
قطر الجسم البلوري ١٠
سمكه ٥
بعد الحدقة عن القرنية ٢
طول محور العين من ٢٢ الى ٢٤

ثم ان المعلم كوسات بين بتجاربه ان انحنا القرنية كانحنا الجسم الحادث من دوران قطع ناقص حول محوره الاكبر وان انحنا الجسم البلوري كانحنا الجسم الحادث من دوران قطع ناقص حول محوره الاصغر

في البيزيكل اي الزجاج التي تقنع امام العيون

بند ٣٠٠ اعلم أن مسافة تمييز المبصرات تختلف باختلاف المرئيات وباختلاف قوة المقلة فاذا كانت تلك المرئيات صغيرة جدًا كحروف مطبعة الرصاص مثلاً كانت مسافة تمييزها بالعين الجيدة التركيب من ٢٠ الى ٢٥ سنتيمترًا اي ثمانية قراريط ولا يميزها طويل النظر الا اذا وضعت بعيدة عن عينه بمسافة ٨٠ أو ٩٠ سنتيمترًا ولا يميزها قصير النظر الا اذا قُرِّبَتْ لبصره بحيث لا تزيد المسافة عن ١٠ أو ١٥ سنتيمترًا فالشخص الذي يميز المرئيات البعيدة عنه اكثر من القريبة منه يسمى بطويل النظر وبذي النظر الطويل (ويسمى بالفرنساوية پرسبيت) والذي يميز المرئيات القريبة منه اكثر من البعيدة عنه يسمى بقصير النظر وبذي النظر القصير (ويسمى بالفرنساوية ميوپ) وطول النظر يعرض عادة للانسان كما تقدم في السن وهو ينتج لا محالة من قلة انضمام الاشعة الضوئية فعلى هذا يكون سببًا عن تفرطح سواء كان في القرنية الشفافة أو في البللورية وقصر النظر يعتري اغلب الناس ولو في أي طور من أطوار

الحياة وهو يحتاج لاعالة من سبب مضاد لما تسبب عنه طول النظر اعني من زيادة تحدب في البلورية أو في القرنية واصلاح هذين العارضين يكون بواسطة زجاجة لامة أو مفرقة توضع امام المقلة فاذا علم بعد تمييز شخص للمبصرات سهل تعيين نوع العدسة وبعدها البوري الواجب استعمالها لتمييز المرئيات على البعد المتوسط الذي هو ٥٠ أو ٦٠ سنتيمترًا مثال ذلك ان كان لشخص طويل النظر لا يمكنه ان يميز المرئيات الا على بعد ثمانين سنتيمترًا فان المرئيات لا تظهر له واضحة الا اذا دخلت الاشعة الضوئية المنبعثة منها في مقلتيه بانفراج يساوي انفراجها اذا كانت آتية من هذا البعد وكلما قربت المرئيات ازداد انفراج الاشعة المنبعثة منها الى المقلة فلا تتكون صور تلك المرئيات على الشبكية ولأجل ان تتكون عليها يجب تقليل هذا الانفراج بوضع عدسة لامة امام المقلة ليزداد انضمام الاشعة وزيادة على ذلك يجب ان تختص العدسة ضامة للاشعة انضمامًا مساويًا لانضمامها لو كانت آتية من بعد ثمانين سنتيمترًا

فاذا رمزنا بالحرف د لمسافة تمييز المبصرات عند طويل النظر وبالحرف ف للبعد البوري للعدسة اللامة التي يجب ان يستعملها وبالعدد ٥٠ سنتيمترًا للبعد الذي يلزم ان يكون بين العين والمرئي ولوحظ ان البورة يجب ان تكون تقديرية حدث

$$\frac{1}{ف} = \frac{1}{د} - \frac{1}{٥٠} \quad \text{ومنه ينتج} \quad ف = \frac{٥٠ د}{٥٠ - د}$$

وهذا هو البعد البوري للعدسة التي يجب ان يستعملها ذو النظر الطويل وهذا القانون يبين ان البعد البوري يكون صغيرًا كلما كان بعد تمييز المبصرات كبيرًا

واذا اريد تعيين نوع العدسة وبعدها البوري التي يجب ان يستعملها ذو النظر القصير يقال من حيث ان انضمام الاشعة الضوئية المنبعثة من المرئي البعيد عن العين بقدر البعد البصري المتوسط كثير لا تتكون الصورة على الشبكية ولأجل ان تتكون عليها يلزم تقليل انضمامها بواسطة عدسة مفرقة توضع امام العين فاذا علم

بعد

بعد تمييز ذى النظر القصير للمبصرات علم بالسهولة بعدها البورى فيحدث

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{ع} = -\frac{1}{ف} \quad \text{ومنه ينتج} \quad ف = \frac{ب ع}{ع - ب}$$

وهذا هو البعد البورى للعدسة المفرقة التى يجب ان يستعملها ذو النظر القصير وهذا القانون يبين ان البعد المذكور ف يتناقص تبعًا لتناقص مسافة تمييز المبصرات ع

ومن منذ زمن طويل كان لا يستعمل الا العدسة المحدبة الوجهين والعدسة المقعرة الوجهين لاصلاح النظر الطويل والنظر القصير وأما الآن فالعدسات الهلالية هى المختارة اذ بواسطتها تتمين المرئيات التى تكون مائلة جدًا على المحور تمينًا واضحًا

الدرس التاسع والاربعون

فى الالات البصرية

٣٠١ الالات البصرية كثيرة ولا نتكلم الا على المهم منها ومعرفته يعرف باقيها فنقول انها تنقسم الى ثلاثة اقسام الاول الآلات الكاتوبتريكية أى الانعكاسية وهى مؤسسة على انعكاس الضوء وقد سبق الكلام عليها فى مبحث انعكاس الضوء على المرايا والثانى الآلات الديوبتريكية اى الانكسارية وهى المركبة من العدسات فقط والمراد منها انكسار الضوء والثالث الالات الكاتديوبتريكية وهى التى تتركب من مرايا وعدسات والمراد منها انعكاس الضوء وانكساره معًا ثم ان ما يوضع منها جهة العين يسمى عينيًا وما يوضع جهة المرئى سواء كان من العدسات أو المرايا يسمى شخصيًا

فى الغرض من الالات البصرية

٣٠٢ الغرض من الالات البصرية تحصيل صور الاشياء القريبة الصغيرة جدًا والكبيرة

البعيدة جدًا ليميزها البصر

ففي الحالة الاولى يلزم توجيه حزمة عظيمة من الضوء على الأشياء الصغيرة جدًا بواسطة المرايا المقعرة او الزجاجات اللامعة وينبغي بعد ذلك وضع آلات أخر من هذا القبيل بتلقيها جزءًا كبيرًا من الأشعة المنعكسة من النقط المختلفة من هذه المرئيات المستنيرة تصيرها مجتمعة لتكوين صور كبيرة بالكفاية ولامعة لتتمكن العين من رؤية اجزائها المختلفة رؤية واضحة بلا عسر

وفي الحالة الثانية يلزم جمع حزم عريضة من الأشعة المتوازية المنبعثة من النقط المختلفة من المرئيات البعيدة جدًا وتوجيهها اما بواسطة المرايا المقعرة او بالعدسات لحزم ضيقة مضيئة بالكفاية ومتفرقة بالمناسبة بحيث ان العين التي تتلقاها تعين الصورة التقديرية لهذه المرئيات

في اللوب أي الميكروسكوب البسيط شكل ٢١٧

٣٠٢ الميكروسكوب البسيط عدسة لامعة قصيرة البورة ويستعمل لتبيين الأشياء الصغيرة أو اجزائها التي يتعذر او يتعسر تمييزها بالبصر وحده ويلزم ان يكون الشيء المراد مشاهدته باللوب موضوعًا امامه أي أن اللوب يكون اقرب للبصر دائمًا وان يكون بعد المرئي عن اللوب اقل من البعد البوري الأصلي للعدسة دائمًا وعلى حسب طاقة العين يكون وضع المرئي أعني ان موضع المرئي يتغير بقربه من اللوب أو ببعده عنه تبعًا لقوة العين الباصرة وما هو مرسوم (في الشكل ٢١٧) يوضح ذلك فان المرئي بك الموضوع بين العدسة ص وبورتها الأصلية ف تتكون صورته في ك ك على بعد من العدسة يساوي بعد تمييز الباصر للمرئيات ويحصل بالتجربة تعيين انسب موضع يوضع فيه المرئي بالبحث عن المحل الذي تتغير فيه

الصورة

الصورة اوضح واكبر كما يمكن تعيينه بالحساب فاذا رمز بالحرف ب للبعد المطلوب وبالحرف ف للبعد البورى الأصلى للعدسة وبالحرف ء لبعد تمييز الباصر للمرئيات ولوحظ أن الصورة يجب أن تكون تقديرية وان تتكون على بعد من العدسة يساوى البعد ء يوجدان

$$\frac{1}{ب} - \frac{1}{ء} = \frac{1}{ف} \quad \text{ومن ينتج} \quad ب = \frac{ء ف}{ء + ف}$$

وهذا البعد لا يختلف دائما عن البعد البورى الأصلى للعدسة الا قليلا جدا لانه حيث كانت الكمية ف صغيرة جدا بالنسبة للكمية ء فيعتبر المقام مساويا للكمية ء وعليه يؤول الكسر الى ف ويعلم مقدار التعظيم بواسطة هذا القانون

$$\frac{\text{الصورة}}{\text{المرئى}} = \frac{\text{بعد الصورة عن العدسة}}{\text{بعد المرئى عن العدسة}}$$

فاذا رمز للمرئى بالحرفين ب ك ولصورته بالحرفين بَ كَ صار مقدار التعظيم هكذا

$$\frac{بَ كَ}{ب ك} = \frac{ء}{ب} = \frac{ء + ف}{ف} = 1 + \frac{ء}{ف}$$

أى أن التعظيم باللوب الواحد يكون لذى النظر الطويل اعظم منه لذى النظر القصير وانه بالنسبة للشخص الواحد يكون كبيرا كلما كان البعد البورى الأصلى للعدسة صغيرا

ثم ان فى الميكروسكوب البسيط خطآن (عدم كمال) احدهما يسمى بالخطأ الانكسارى والاخر بالخطأ اللونى فالاول يحدث من عدم تساوى انكسار الاشعة المختلفة الالوان وبه تظهر صور المرئيات ملونة الحوافى والثانى يحدث من كون الاشعة التى تسقط على الاجزاء المختلفة من العدسة لا تتكون بورها فى نقطة واحدة فينبغى لاصلاح الخطأ الانكسارى استعمال العدسات الاكرومايتية وينبغى لتقليل الخطأ

الكروى استعمال العدسات القليلة الاتساع

فى الميكروسكوب البسيط المنسوب للعلم راسبايل شكل ٢١٨

بند ٣٠٤ هذا الميكروسكوب مكون من انبوبة اقفية من النحاس الاصفر د داخلها قضيب فى طرفه دائرة توضع فيها العدسة اللامة القصيرة البورة ولذا سمى بحامل العدسة وهذا القضيب يمكن تطويله أو تقصيره بواسطه البرمة ط التى يمكن ادخالها أو اخراجها فى الانبوبة على حسب الارادة وهذه الانبوبة موضوعة على قضيب رأسى غير مسمرة فيه بل موضوعة بحيث تمكن ادارتها يمينًا أو شمالًا وتقدمها نحو العدسة د أو تأخيرها بحسب الحاجة ومن دائرة اخرى تحت دائرة العدسة لها ذنب يدخل فى ثقب فى الانبوبة الرأسية ط ط توضع فى هذه الدائرة حاملة المرئى وهى قرص مستوى السطح من زجاج شفاف صقيل جدًا لا يرى جسمه لشدة شفافيته وقد يوضع بدله قرص احد وجهيه مقعر وهو من زجاج ايضًا ليوضع فيه سائل من ماءٍ أو حمض أو غازٍ أو دم أو لبن اذا اريد البحث فى كل من الاجزاء المركب منها أو عن تفاعل بعضها فى بعض وهذه الدائرة الاخرى يمكن رفعها وخفضها بواسطة برمة التضغط و الداخلة فى القضيب الرأسى ومن دائرة ثالثة فى محل ص فيها مرآة متحركة تمكن امالتها الى اعلا أو أسفل على حسب الحاجة منفعتها انارة المرئيات الصغيرة الموضوعة على الزجاجة الشخصية التى هى حاملة المرئى وجميع ذلك مركب على صندوق صغير من الخشب ك توضع فيه تلك القطع التى يتركب منها الميكروسكوب عند انتهاء العمل ويوجد فى ذلك الصندوق زيادة عن القطع المذكورة مشرط صغير دقيق وابرتان لتفصيل اجزاء المرئيات وتقريبها الى مركز العدسة وجفت صغير لتمسك به وبعض اقراص ملونة بالسواد مثقوبة من الوسط تسمى بالحجاب تلصق قطرها كقطر حاملة المرئى توضع عليها لتنقيص شدة الضوء الذى ربما منع من تمييز المرئى

التمييز

التمييز الكافي ولابد وان يشتمل هذا الصندوق على عدستين قطر احديهما من سبعة خطوط الى ثمانية وقطر الثانية ميليمترًا واحدًا وهو اقل من نصف خط وهذه العدسة الاخيرة يمكن ان تعظم المرئي مائة وخمسين مرة وبين هاتين العدستين عدسات كثيرة تعظم المرئي عظمًا متوسطًا ويوجد في الصندوق من هذه العدسات ثلاث او اربع هذا ويمكن ان يحصل عند فقد المبكر وسكوب ما يقوم مقامه وهو ان توضع قطرة ماء صافٍ جدًا على قطعة بيضاء من زجاج شفاف جدًا ثم تقلب تلك القطعة فتتحدب عليها قطرة الماء بسبب ثقله عند قلب الزجاجة فتصير كعدسة محدبة مسطحة ترى بها المرئيات الدقيقة انما يلزم ان لا يطول الزمن بين عملها واستعمالها لئلا تتصاعد بخارًا وتتغير شكلها وقد تصنع هذه العدسة الوقتية من الزجاج بأن يؤخذ سلك من البلاتين ويلف على هيئة قمع او تؤخذ صفيحة صغيرة من البلاتين ايضا فيها ثقب صغير ويوضع في باطن الطرف الدقيق من القمع او في ثقب الصفيحة جزء ناعم من مسحوق الزجاج الابيض ثم توجه عليه شعلة مصباح تنفخ بانبوبة طرفها الدقيق من جهة الشعلة فيذوب ذلك الزجاج ثم يترك ليتبرد تدريجًا فتكون منه كرة صغيرة من الزجاج الصافي تعظم المرئيات وينبغي ان يعمل من هذه العدسات عدد كبير اذ الغالب ان لا يصح في العشرة منها الا واحدة او ثنتان ويلزم ان توضع العدسة من هذه العدسات في طرف انبوبة سودا من باطنها حتى لا تختلط اشعة المرئي بالاشعة الخارجية فيقع الاختلاط في رؤية الاجسام المراد تعظيمها

وينبغي ان يلاحظ انه عند استعمال القرص المغير الحامل للمرئي اذا وضع فيه سائل يتغير محل الجسم بسبب حركة السائل فيلزم ان تحرك العدسة عند انتقال السائل عن حيزه الى جهته

ومن حوامل المرئي غير ما ذكر ما هو مخصوص بالجواهر التي تتأثر بالنار حال البحث عنها

ومنها ما هو مخصوص بما يمتحن بالجواهر الكثافة وهذه الحوامل اقراص من زجاج نظيف جدًا في أحد سطحيها حفرة مجوفة يوضع فيها السائل ثم يزلق على هذا السطح قرص اخر مستو من زجاج نظيف ايضًا ليمنع تصاعد السائل بخارًا ثم تدهن حوافيهما بجوهر لا يحل في السائل المحصور في الحفرة كالصمغ وزلال البيض اذا كان السائل ايتيرًا او الكولًا والراتنج اذا كان السائل ماءً والغالب ان الاقراص السودا التي هي كالحجاب الحاجز توضع تحت حامل المرئي وقد تمسك باليد لتحول بحسب الارادة الى الجهة المراد تنقيص الضوء منها وقد مر أن الحجاب الحاجز مثقوب من الوسط بثقب واحد ليلا تنفذ الاشعة غير المحتاج اليها ويلزم في هذا الثقب ان لا يكون قطره اكثر من اربعة ميلليمترات وهي اقل من خطين والضيق منها جدًا ينفع في مشاهدة المرئيات الكثيرة الشفوفة لكون تمييزها يحتاج الى ضوء قليل

الدرس الخمسون

في الخزانة النيرة والخزانة المظلمة والميقاسكوب والمصباح السحري والفنتازماغوريا والميكروسكوب الشمسي

الكلام على الخزانة النيرة شكل ١٩٠

٢٠٥ يستعمل الخزانة النيرة الة تستعمل لرسم صور المرئيات بحدودها واشكالها كما اذا اريد رسم صورة بناء او قرية وهي مركبة من منشور رباعي اب ث ء زاويته ب قائمة وزاويته ء منفرجة ومقدارها ١٣٥ درجة وزاويته ا = ث فاذا وضع الوجه ب ث عمودًا على اتجاه الاشعة الضوئية الاتية من المرئي دخلت هذه الاشعة في المنشور بدون ز وغان وخرجت منه عمودية على الوجه اب بعد انعكاسين كليين

احدهما

أحدهما على الوجه ء ث والآخر على الوجه ا ء والراصد يرى الصورة تحت المنشور في وضع افقي فاذا اهتم بوضع العين فوق الزاوية ا بحيث يقع جزء من الحدقة على الاشعة المنعكسة وجزؤها الآخر على ورقة الرسم الموضوعة افقيا تحت المنشور تمكن من رسم صورة المرئيات على الورقة بحدودها وما فيها

وقد تستعمل مرآة معدنية ث ء مائلة على صفيحة زجاجية ا ء بمقدار ١٣٥ درجة لرسم ما ذكر وصورة الخزانة النيرة مرسومة في الشكل (٢١٩)

الكلام على الخزانة المظلمة شكل ٢٢٠

٣٠٦ هند هي خزانة معدة لان ترتسم فيها صور مرئيات تكون في فضاء ما وذلك بأن يثقب في بابها ثقب مستدير وتوضع فيه عدسة لامة ايكر وماتية ويكون في باطن الخزانة في محاذاة العدسة لوح ابيض ترتسم فيه صور المرئيات التي تكون موجودة في الفضاء امام الخزانة وترى تلك الصور في اللوح متميزة عن بعضها واضحة لكنها منقلبة وصورة الخزانة المذكورة مرسومة في الشكل (٢٢٠) فالعدسة ح بارزة في باطن الخزانة ك من جدار ط ط لتكون جهة امتداد البصر محدودة فاذا اسقطت الاشعة ے ے و و ه ٢٢ على العدسة انحصرت الصورة الموجودة في تلك المسافة ونفذت من العدسة وارتسمت على اللوح ص ص فاذا اريد رؤية الصور على اللوح معتدلة ليتمكن من رسمها بحدودها مثلا توضع خارج الخزانة مرآة اعتيادية تعكس صور المرئيات على العدسة فترتسم على اللوح معتدلة بحدودها ويلزم ان تكون هذه المرآة قابلة لان تتحول نحو الجهة التي يراد توجيهها اليها

في الخزانة المظلمة الانتقالية شكل ٢٢١

بند ٣٠٧ الخزانة المظلمة الانتقالية اما ان تكون على هيئة متوازي السطوح أو على شكل الهرم فاذا كانت على هيئة متوازي السطوح كان محور العدسة افقيًا وبهذا ترتسم الصورة لَ فى لَ على الزجاجة غير المصقولة بواسطة المرآة المستوية ؟؟ المائلة على محور العدسة بنصف الزاوية القائمة ويلزم لاجل سهولة الرسم ان تكون عين الراصد فوق الزجاجة وأثبت على الفتحة ستارة من نحو الجوخ لتكمل الظلمة فيرى الخيال واضحًا وصورة هذه الخزانة مرسومة فى الشكل (٢٢١)

واذا كانت على شكل هرم كان محور العدسة رأسيًا وحينئذ يلزم وضع المرآة ؟ ؟ خارج الخزانة لتعكس الاشعة التى بعد انكسارها فى العدسة ترسم على اللوح فى لَ لَ صورة المرئيات البعيدة ويلزم ان تكون العدسة موضوعة على حامل يحسن وضعها اللازم لاظهار الصورة وصورة هذه الخزانة مرسومة فى الشكل (٢٢٢)

الكلام على الميقاسكوب أى نظارة الأجسام المراد رسمها شكل ٢٢٣

بند ٣٠٨ هى نظارة مهيئة لتحصيل صور الأجسام الغليلة الامتداد اذا اريد رسم صورتها وهى مكونة من عدسة لامة م توضع محكمة فى ثقب كوة خزانة مظلمة جـ د ويوضع الجسم المراد رسم صورته ل خارج الكوة بعيدًا عن بورة العدسة فى اتجاه محورها م ؟ بحيث يصير نيرًا بضوء الشمس الساطع فيه أو المنعكس اليه من مرآة اعتيادية فتصير صورة الجسم كبيرة جدًا لكنها منقلبة فى الخزانة فاذا اريد رؤيتها معتدلة يعكس وضع ذلك الجسم وكلما كان المرئى اقرب للبورة الأصلية للعدسة كانت الصورة اعظم وقد تستقبل الصورة بدل ابصارها بالعين على نحو الورق وصورة الميقاسكوب مرسومة فى الشكل (٢٢٣)

الكلام على

الكلام على المصباح السحرى

بند ٣٠٩ اذا وضع فى صندوق مرآة مقعرة ووضع فى بورتها شعلة مصباح ووضعت عدسة لامة مقابلة للاشعة المنعكسة ووضع حامل المرئى بينهما ظهرت الصورة كبيرة بدون مشاهدة شئ من الاشياء التى فى باطن الصندوق فلذا سمى بالمصباح السحرى وحوامل المرئى فيه صفائح زجاجية ترسم عليها الصورة المرادة بلون ظاهر

الكلام على الفانتازماغوريا أى الطيف الخيالى

بند ٣١٠ الفانتازماغوريا آلة من انواع المصباح السحرى مكونة من صندوق فى صدره مرآة مقعرة لامعة فى بورتها شعلة مصباح وبعد المصباح عدستان لامتان وبعدها محل المرئى وبعده عدسة ثالثة فى آخر الصندوق وامام الصندوق من الخارج بعيدا عنه قماش مشمع يمكن تقريبه وتبعيده عن العدسات ليتمكن من ارتسام الصور عليه فاذا رسم على الزجاج صور غريبة بالسواد أو بلون آخر وقدمت واحدة واحدة أو اثنتين أو ثلاثا ظهر للناس الجالسين امامها فى الظلمة كانها تلعب مع بعضها وتكبر وتصغر وغير ذلك مما يريد المورى ان يظهره للحاضرين

الكلام على الميكروسكوب الشمسى

بند ٣١١ الميكروسكوب الشمسى ينفع فى تبيين المرئيات الصغيرة جدا وانما سمى بذلك لان استنارة الجسم المراد رؤيته فيه لا تكون الا بضوء الشمس الذاتى لا الذى يفى الظل وقد اخترعه سنة ١٧٤٥ مسيحية المعلم ليبيركهن فى مدينة برلين قاعدة مملكة بروسيا ومن ذلك الوقت الى الآن حصلت فيه تنوعات المستعمل منها الآن المرسوم

صورته في الشكل (٤٢٤) ويختار استعماله عن غيره لعظم انارته للاجسام وكثفها به وهو مكون من مرآة مستوية س ص وثلاث عدسات لامة ا ، ب ، ث وكل من العدستين ا ، ب ينفع بجمع الضوء على المرئي المجاورة عليه التجربة وأما العدسة الثالثة ث تنفع لتبيين الصورة والضوء المستعمل لاستنارتها هو الضوء الشمسي فاذا انعكس ضوء الشمس من المرآة س ص وقع على العدسة ا فتضمه ثم توجهه الى العدسة ب فتضمه كذلك وتوقعه على المرئي ب ك وينبغي ان يكون هذا المرئي في بورتها الحقيقية لتزيد استنارته ثم ان الاشعة الضوئية تقع اخيرا على العدسة الشخصية ث وترسم الصورة على لوح ابيض موضوع على بعد ما وكلما كان المرئي اقرب للبورة كان التعظيم اكبر ويمكن معرفته بواسطة قوانين العدسات اذا علم البعد البوري للشخصية وبعد المرئي أو بعد صورته عنها ويمكن ايضا معرفته بالتجربة بان يجعل المرئي صفيحة من زجاج ملون منقسمة الى اقسام متساوية متباعدة عن بعضها بقدر معين ثم يقاس امتداد اللوح المصورة عليه صورة تلك الاقسام وحيث ان للعدسة الشخصية برمة تنفع لتقريبها الى المرئي او تبعيدها عنه يمكن تعظيم الصورة بمقدار كبير أو ايقاعها على لوح موضوع على بعد معين وينبغي أن تثبت المرآة المستوية س ص والعدسة ا في كوة خزانة مظلمة وان تكون المرآة المستوية قابلة لتغيير ميلها على محور العدسات لتصير الحزمة الضوئية المنعكسة منها موازية دائما للمحور المذكور ولوضع المرئيات بسهولة يثبت صفيحتان معدنيتان ض ض ، ر ر بالقرب من الشخصية عموديتان على محورها وتوضع بينهما صفيحة ثالثة ط ط بحيث يمكن تقريبها للصفيحة ر ر وتبعيدها عنها بحسب اللزوم ليتمكن العامل من وضع حامل المرئي بينهما وحوامل المرئي في هذا المبكر وسكوب صفائح من عاج مثقوبة ثقوبا مستديرة عليها حلقات من نحاس لتحفظ العرصين الزجاجيين

الذين

اللذين يوضع المرئى بينهما والمسافة التى يوضع فيها حامل المرئى تسمى محل الرصد وكيفية استعمال هذا الميكروسكوب أن يثبت فى كوة الخزانة المظلمة المرآة المستوية والعدسة الاولى باسطوانتها كما ذكر ويوضع المرئى فى مسافة الرصد وتحرك المرآة المستوية الى أن يصير جيد الاستنارة من الاشعة الشمسية ثم توضع العدسة الشخصية وتقرب منه أو تبعد عنه حتى تظهر الصورة واضحة والذى يحدث من المرئيات الموضوعة فى مسافة الرصد صور مختلفة تبعًا لبنية المرئى وتركيبه فاذا وضعت قطرة من سائل على صفيحة زجاجية مستوية الوجهين ووضعت هذه الصفيحة فى مسافة الرصد وجعل السائل من جهة الضوء حدثت منه بلورات ان كان السائل من السوائل القابلة للتبلور فان كان فيه حيوانات صغيرة جدًا ظهرت كبيرة متميزة اجزاؤها عن بعضها كما فى الخل فانه يشاهد فيه بواسطة هذا الميكروسكوب حيوانات تشبه الثعابين واذا وضع حيوان صغير فى مسافة الرصد شوهد باعضائه كحيوان كبير فان كان الموضوع جزأ من الحيوان ظهرت صورة ذلك الجزء كبيرة متميزة اجزاؤها عن بعضها واما الحيوانات الصغيرة الحية فيلزم ان توضع بين صفيحتين من زجاج ويدخلان بقوة فى عمد من نحاس خلى الوسط ويوضع الغذاء فى مسافة الرصد واذا اريد مشاهدة دورة الدم فى عضو من الاعضاء الظاهرة أو الباطنة من الأسماك أو الهوام أو فى ذنب الحيوان المائى الذى هو اصل الضفدع يجعل الجزء المراد مشاهدته فى علبة صغيرة من الزجاج ومملوءة ماء وتوضع فى مسافة الرصد واما اذا كان المراد امتحان تفاعل الجواهر فى بعضها يوضع ما يراد امتحانه فى العلبة المذكورة وتوضع فى مسافة الرصد ولهذا الميكروسكوب منافع عديدة

الدرس الحادى والخمسون

فى التيلوسكوب اى نظارة البعد والميكروسكوب المركب والنظارة الفلكية ونظارة غليلى والنظارة الارضية

الكلام على التيلوسكوب شكل ٢٢٥

بند ٣١٢ الجزء المهم فى هذه النظارة مرآة معدنية مقعرة تجعل من جهة المرئيات لتنعكس فيها صورة المرئى مقلوبة كما ذكر فى بحث انعكاس الضوء وانواع التيلوسكوب ثلاثة الأول المنسوب الى المعلم جريجورى الذى اخترعه من نحو قرنين وهو مكون من مرآة مقعرة م ح مثقوبة من وسطها ومن مرآة مقعرة صغيرة م ح موضوعة بعيدا عن البورة الأصلية ف للمرآة الأولى ببعد يزيد قليلا عن بعدها البورى س ف فالمرئيات البعيدة جدا تحدث اولا صورة مقلوبة ب ك فى بورة المرآة م ح وهذه الصورة تنعكس ثانيا على المرآة الصغيرة ونرتسم فى ب ك بالقرب من فتحة المرآة الكبيرة فترى بواسطة عدسة عينية معدة لتبيينها والمرآة الصغيرة يمكن شدها بها أو تبعيدها عن المرآة الكبيرة بواسطة برمة خارجية ويلزم تبعيدها كلما ان التيلوسكوب قريبا من المرئيات وصورة هذا التيلوسكوب مرسومة فى الشكل (٢٢٥)

والثانى المنسوب الى كاسيجرين وصورته مرسومة فى الشكل (٢٢٦) وحسنه عن الأول انما هو بسبب قصره وكثرة تبيين الصور به ولا يخالف الأول الا فى كون

المرآة

المرآة الصغيرة فيه محدبة فتقع عليها الأشعة قبل انضمامها فتعكسها مفرقة لها وبهذا تتكون الصورة معتدلة امام العينية التي تعظمها للباصر والثالث وهو لعين من سابقيه منسوب للعلم نوتون وصورته مرسومة في الشكل (٢٢٧) وهو مكون من مرآة مقعرة م ا ح موضوعة في اسطوانة ومن مرآة صغيرة مستوية م ح موضوعة بين المرآة المقعرة وبورتها الأصلية والمرآة م ح مائلة على المحور أ ح بقدر نصف الزاوية القائمة فالمرئي البعيد جدًا ب ك تكون صورته ب ك في البورة الاصلية للمرآة المقعرة م ا ح لكن بسبب المرآة المستوية تكون الصورة ب ك في وضع مماثل لوضع الصورة ب ك فترى بواسطة العدسة العينية د ء الموضوعة في الانبوبة الصغيرة الجانبية وحساب التعظيم في هذا التلسكوب سهل لان الزاوية التي يرى المرئي بحسبها في التلسكوب هي ب ح ك والزاوية التي يرى بحسبها بمجرد العين هي ك ح ب فاذن يكون التعظيم مساويًا للنسبة التي بين البعد البوري الأصلي للمرآة المقعرة والبعد البوري الأصلي للوب الذي هو العدسة العينية

الكلام على الميكروسكوب المركب شكل ٢٢٨

٣١٦ هو مركب من عدستين لامتين احداهما شخصية والاخرى عينية وتعظيمه للمرئي يساوي حاصل ضرب تعظيم عدسته العينية في تعظيم عدسته الشخصية وايضاحه أن المرئي ا ب الموضوع امام العدسة الشخصية م على بعد ح و اكبر من بعدها البوري الأصلي ح ف تكون صورته أ ب في الجهة الثانية من العدسة على بعد ح و والتعظيم الحادث من هذه العدسة يتبين مقداره من هذه المتناسبة

أ ب : ا ب :: ح و : ح و أي أ ب = ا ب × $\frac{ح و}{ح و}$

واذا وضعت العدسة م بحيث تكون الصورة أ ب بينها وبين بورتها

الاصلية ف امكن اعتبار الصورة أَ تَ كرف موضوع بالقرب من البورة الأصلية ف للعدسة العينية مَ فتكون صورته أَ تَ والعدسة العينية مَ تعظم المرئى أَ تَ بمقدار يعلم من هذه المتناسبة

أَ تَ : أَ تَ :: كل : كَ وَ

أى أَ تَ = أَ تَ × كل / كَ وَ = اب × حو / ح و × كل / كَ وَ

وهو المراد اثباته

تنبيه

حيث انه يمكن اعتبار ح و = ح ف = ف و ، كَ وَ = كَ ف = ف يكون مقدار التعظيم الاخير هكذا

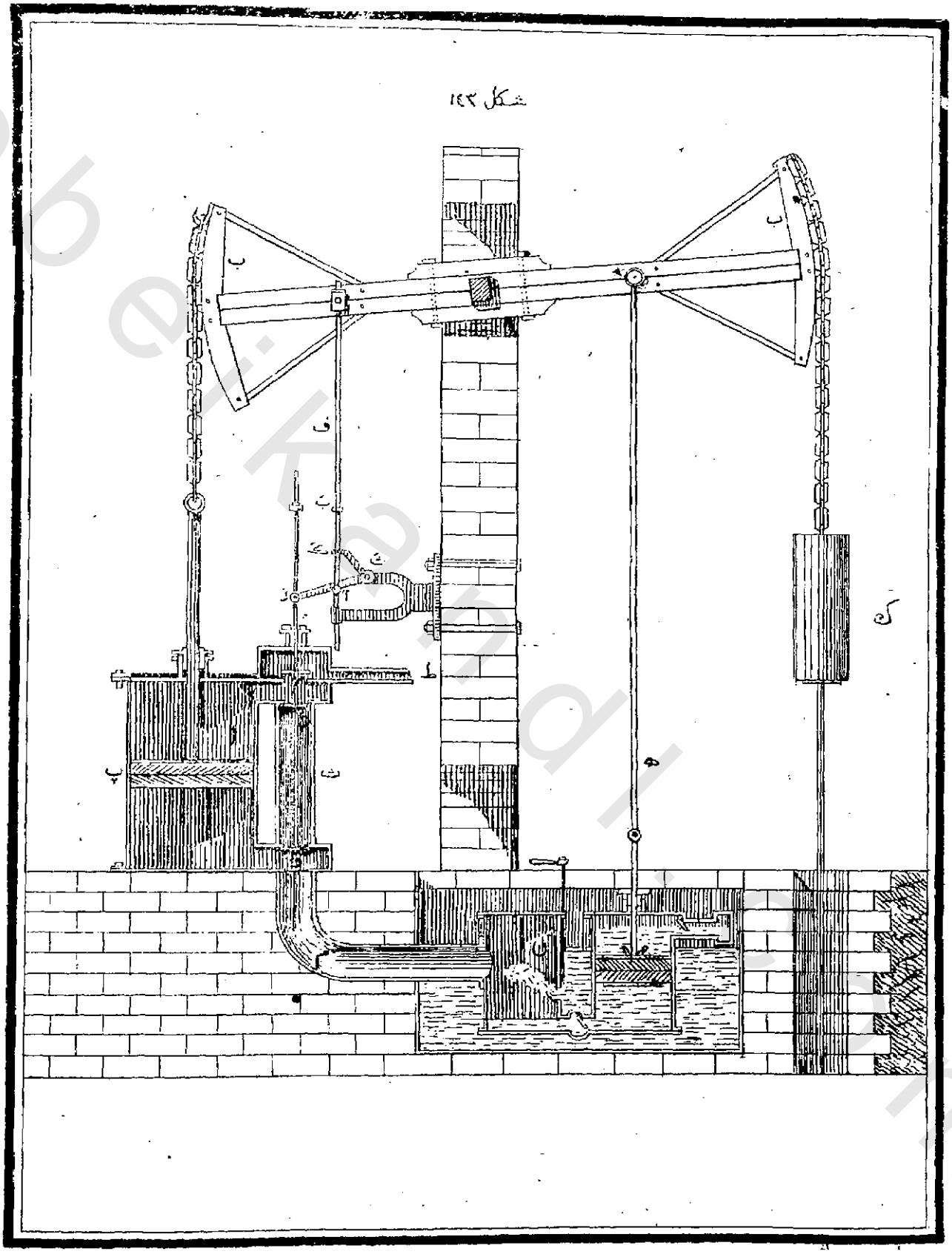
أَ تَ = اب × حَ ف / ف × كل / ف

ويعلم من هذا القانون أن مقدار التعظيم يزداد بقطا لبعض البعدين البوريين ف و ف للعدستين الشخصية والعينية والمرسوم فى شكل ٢٨ ك صورة الميكروسكوب المركب المستعمل بكثرة وهو مكون من ثلاث انابيب رأسية متداخلة العليا تحمل العدسة العينية والوسطى تحمل الحجاب الحاجز اب الذى يمنع نفوذ الأشعة الكثيرة الميل والسفلى تحمل العدسة الشخصية وبهذا الوضع يمكن تطويل المسافة بين العينية والشخصية أو تقصيرها على حسب الحاجة الى تعيين المرئى وينبغى ان يكون باطن الانابيب مدهونا بطبقة سوداء غير صقيلة أو ملصقا عليه نحو قطيفة سوداء حتى لا يكون هناك ضوء يصل الى العدسة العينية فيشوش الابصار

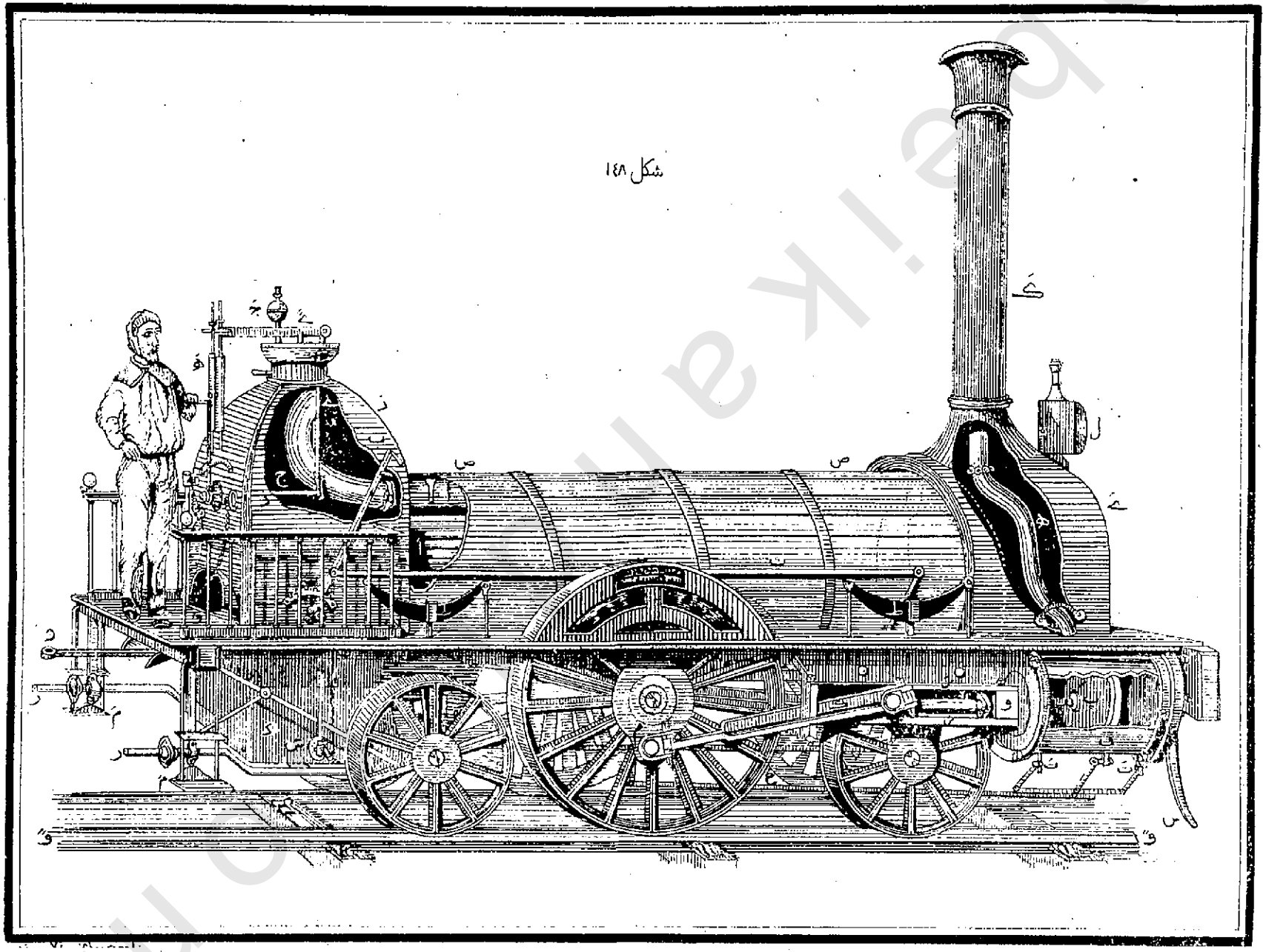
وكيفية استعمال هذا الميكروسكوب ان يوضع المرئى على صفيحة زجاجية شفافة جدا وتوضع هذه الصفيحة على حامل المرئى حد ثم ينار بالمرآة م ح ان كان شفافا فان لم يكن كذلك ينار بالعدسة س ص العالية عنه وكل من المرآة والعدسة

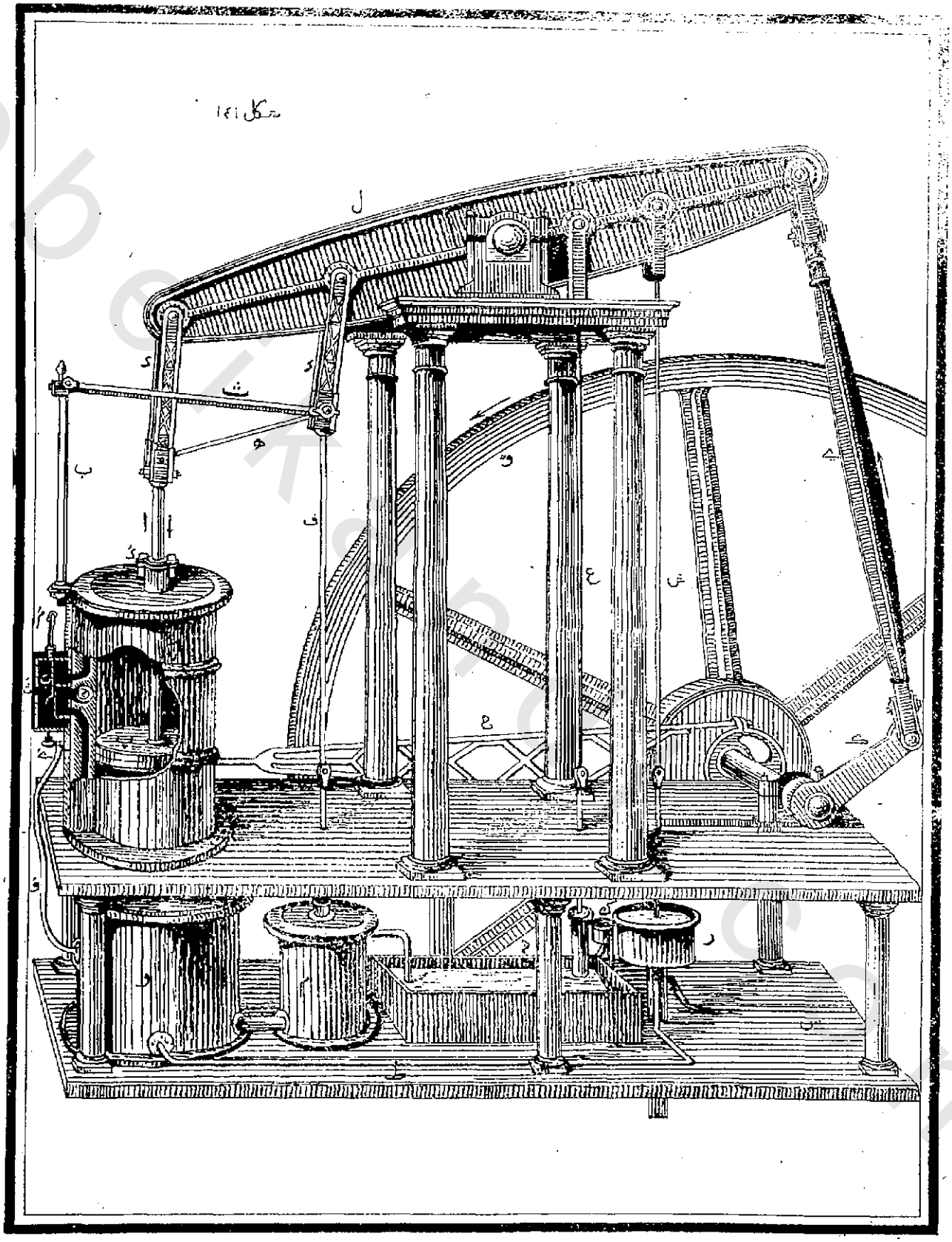
قبل

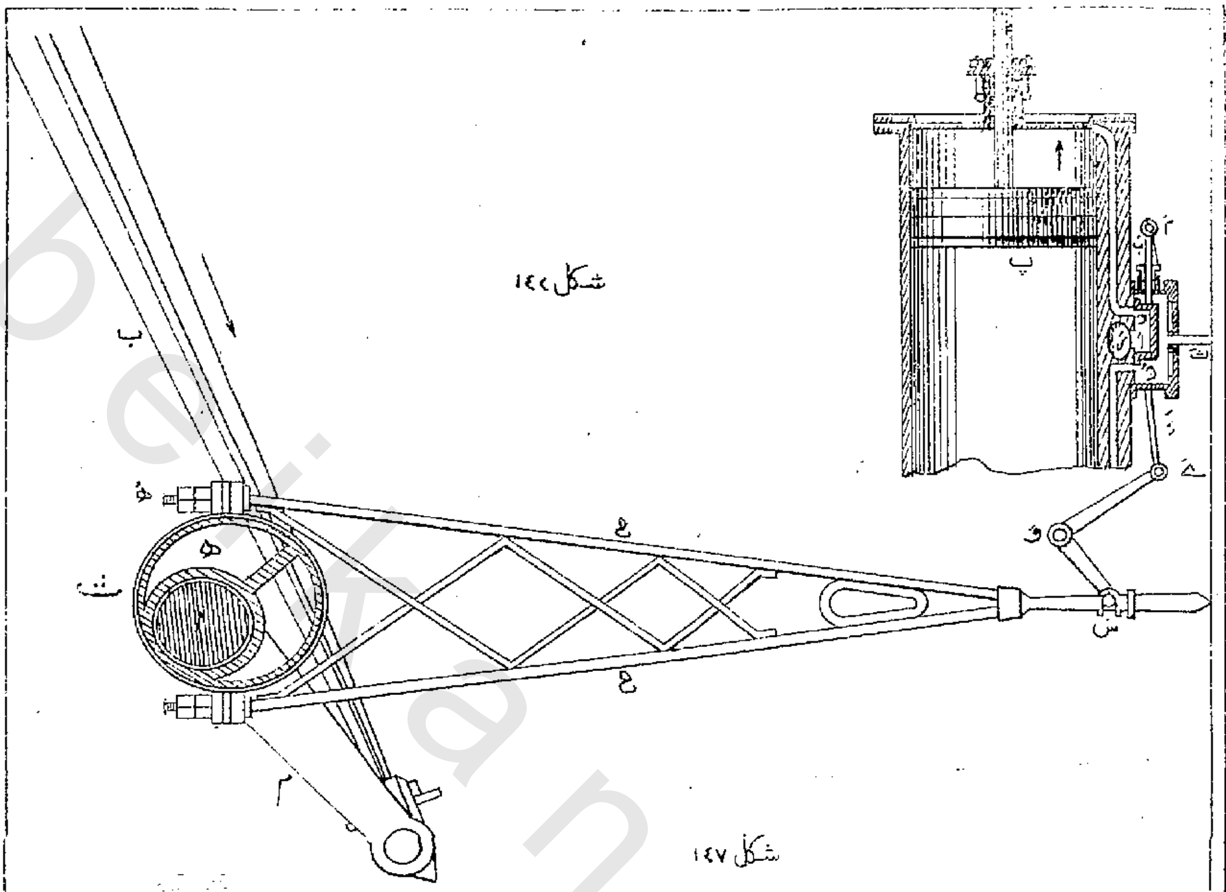
شکل ۱۴۲



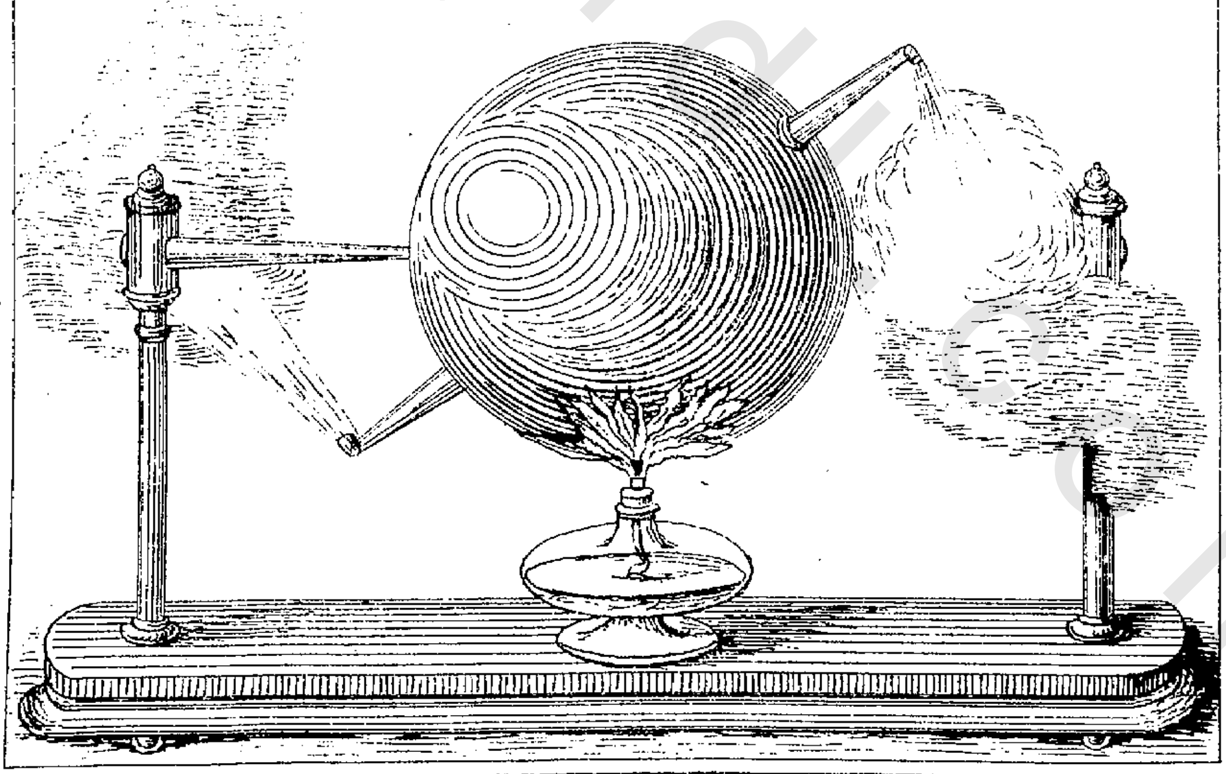
شکل ۱۴۸




شكل ١٤١
ل
ك
ك
ش
ب
ا
ف
ع
ش
ق
د
ر
ن



شكل ١٤٦



شكل ١٤٧

obeikandl.com

قابل للرفع والخفض والتحويل الى الجهة المرادة وحامل المرئى يمكن تقريبه وتبعيده عن العدسة الشخصية بواسطة برمة معدة لذلك

ثم ان فى هذه الآلة خطأ كبيرًا (عدم كمال) وهو ناتج من عدم كمال اكروماتية العدسة الشخصية ويمكن تقليل هذا الخطأ بواسطة عدسة اخرى توضع قبل الصورة التى تشاهد بالعدسة العينية ويتوصل ايضًا الى اصلاح هذا الخطأ باستعمال عدسة عينية مكونة من عدستين وعدسة شخصية مكونة من جملة عدسات ابعادها البورية مختلفة وصغيرة جدًا

الكلام على النظارة الفلكية شكل ٩٩

سد هى مكونة من عدستين لامتين شخصية ق وعينية ع موضوعتين بكيفية على بعد بينهما يساوى مجموع البعدين البوريين الاصليين والتعظيم الحاصل من هذه الآلة يساوى خارج قسمة البعد البورى الاصلى للعدسة الشخصية على البعد البورى الأصلى للعدسة العينية

وبيانه انه يقال حيث ان المرئى المشاهد بهذه النظارة بعيد جدًا تكون صورته حـ د مقلوبة فى البورة الاصلية للعدسة الشخصية فاذا كانت العدسة العينية موضوعة على بعد يكون المرئى حـ د قريبًا من بورتها الأصلية تكون صورته حَ دَ معتدلة وحيث ان الزاوية التى يرى المرئى بحسبها تساوى حـ ب د

والزاوية التى ترى الصورة بحسبها تساوى حـ ع د

و ظا حـ ع هـ = $\frac{حـ هـ}{ع هـ}$ و ظا حـ ب هـ = $\frac{حـ هـ}{ب هـ}$ يكون

$\frac{ظا حـ ع هـ}{ظا حـ ب هـ} = \frac{حـ هـ}{ع هـ} \div \frac{حـ هـ}{ب هـ} = \frac{ب هـ}{ع هـ}$

وهو المراد اثباته

في سعة النظارة الفلكية

سند ٢١٥ المسافة التي توجد فيها جميع النقط المستنيرة المشاهدة بهذه الآلة تسمى سعة النظارة وهي سطح مخروطي قائم محوره محور النظارة ورأسه المستقيم الواصل من المركز البصري للعدسة الشخصية الى نقطة من حافة العدسة العينية فاذا كانت ب المركز البصري للعدسة الشخصية و ج المركز البصري للعدسة العينية و ج ط قطر دائرتها كانت الزاوية ج ب ط هي زاوية السعة والزاوية ج ب ح نصف السعة وحيث أن المثلث ج ح ب قائم الزاوية يكون ط ك السعة = ج ح / ج ب أعني ان ظل نصف السعة يساوي خارج قسمة نصف قطر دائرة العدسة العينية على بعدها عن العدسة الشخصية

الكلام على نظارة غليلي شكل ٢٣٠

سند ٢١٦ هذه النظارة مكونة من عدستين شخصية لامعة ش وعينية مفرقة ع موضوعتين في انبوبتين تدخل احداهما في الاخرى لتطويل المسافة بين العدستين أو تقصيرها على قدر تمييز المرئي وتوضيحه وفائدة العدسة المفرقة رؤية المرئي معتدلاً لا منقلباً وذلك لان العدسة العينية المقعرة الوجهين موضوعة بين العدسة الشخصية وبورتها الأصلية فالأشعة الضوئية بعد نفوذها من الشخصية تقابل العينية فتنفرج بحيث يمكن اعتبارها خارجة من النقط الموضوعة على البعد البصري المتوسط فبهذا الوضع تكون الصورة التقديرية المشاهدة بالعدسة العينية المقعرة الوجهين معتدلة كبيرة لان زاويتها البصرية اكبر من الزاوية التي يرى المرئي بحسبها وايضاحه أن

$$\frac{\text{ظا}\frac{1}{2}\text{حـ}}{\text{ظا}\frac{1}{2}\text{و}} = \frac{\text{ر ف}}{\text{ح ف}} \div \frac{\text{ر ف}}{\text{و ف}} = \frac{\text{و ف}}{\text{ح ف}}$$

اى ان التعظيم يكون كبيرًا كلما كان البعد البورى الأصلى للعدسة الشخصية طويلاً وكان البعد البورى الأصلى للعدسة العينية قصيرًا

والعين لا يمكنها ان تتلقى الا جزأ من الاشعة المنحصرة فى الزاوية ر ى فعلى هذا تكون سعة المرئيات المشاهدة بواسطة نظارة غليلى قليلة الاتساع ولاجل ان تكون كبيرة على قدر الامكان يلزم ان تكون العين موضوعة قريبة جدًا من العدسة العينية ومن البين ان اتساع سعة هذه النظارة يتعلق هنا بوضع العين

فاذا كانت العين موضوعة فى وضع وشاهدت احدى نقطتى ر ، ر' يمكن ان لا تشاهد الأخرى ولايجاد البعد الذى يكون بين العدسة العينية المقعرة الوجهين والعدسة الشخصية يقال اذا رمزنا بالحرف س للبعد المطلوب وبالحرف ف للبعد البورى الأصلى للعدسة الشخصية وبالحرف هـ للبعد البورى الأصلى للعدسة العينية وبالحرف ء للبعد البصرى المتوسط يوجد أن

$$\text{ب} = \text{ف} - \text{س} \quad \text{ق} \quad \text{ت} = \text{ء} \quad \text{وأن}$$

$$\frac{1}{\text{ف} - \text{س}} + \frac{1}{\text{ء}} = \frac{1}{\text{هـ}} \quad \text{ومنه ينتج أن}$$

$$\text{ف} - \text{س} = \text{هـ} : \left(1 - \frac{\text{هـ}}{\text{ء}}\right) \quad \text{فيكون}$$

$$\text{س} = \text{ف} - \frac{\text{هـ}}{1 - \frac{\text{هـ}}{\text{ء}}} \quad \text{وحيث أن ف} - \text{س} > \text{هـ} \quad \text{ومقدار س تابع لمقدار ء يعلم من ذلك أن الاشخاص ذوى النظر الطويل ينبغى لهم تبعيد العدسة العينية عن الشخصية بخلاف الاشخاص ذوى النظر القصير فان الموافق لهم تقريبها لها}$$

الكلام على النظارة الارضية

بند ٣١٧ النظارة الارضية مكونة من اربع عدسات لامة ا ، ب ، حـ ، ء والعدستان

الأولیان ا ، ب موضوعتان بحیث تقع بورتیهما فی نقطة واحدة ف واما العدسة الثالثة فتکون بورتها فی النقطة ش التی هی نقطة تصالب الأشعة بعد خروجها من العدسة الثانیة واما العدسة الرابعة التی هی بمنزلة لوب (أی عدسة عینیة) بورتها ف خلف بورة العدسة الثالثة ش بقلیل

فاذا کان المرئی پ ک بعیدا جدا وموضوعا امام الشخصیة تکونت عنه صورة اولیة مقلوبة فی پ ک واسمرت الاشعة الضوئیة علی سیرها ووقعت علی العدسة ب فتنضم فی بورتها ثم تذهب وتکون صورة جدیدة پ ک ک فی البورة الأصلیة للعدسة الثالثة وهذه الصورة معتدلة فتشاهد بواسطة العینیة

والتعظیم فی هذه النظارة کالتعظیم فی النظارة الفلکیة بفرض أن البعدین البوریین الأصلیین للعدستین المتوسطتین متساویان وان المرئی بعید بالکفایة هذا والفلکیون یؤثرون النظارة الفلکیة لارصادهم لانها لا تشرب من الضوء الا قلیلا

والعادة ان توضع العدسات فی انبوبة مکونة من ثلاثة اجزاء متداخلة فتوضع العدستان المتوسطتان فی انبوبة واحدة وتجعل کل عدسة من العدستین الطرفیتین فی انبوبة مخصوصة بها وسبب هذا الوضع انه لابد من ان یکون بعد العدستین الاولیین متغیرا لان موضع الصورة الاولی پ ک یتغیر بعده عن العدسة الشخصیة بتغیر بعد المرئی فیلزم تقریب العدسة الثانیة أو تبعیدها عن الشخصیة حتی تصیر بورتها فی النقطة التی تکون فیها هذه الصورة واما بعد العدستین المتوسطتین فیلزم أن یکون ثابتا لان نقطة تصالب الأشعة التی تنفذ من العدسة الثانیة یلزم ان تکون دائما فی البورة الأصلیة للعدسة الثالثة واما العدسة الرابعة فتقرب بها للصورة ت ک وتبعدها عنها تابع لقوة بصر الراصد

تم الجزء الثانی بحمد الله وعونه
طبع بمطبعة مدرسة المهندسخانة الخدیویة ببولاق وقابل اصول طبعه الراجی تسهیل الامور
عبد المجید الفندی مذکور ملاحظ المطبعة المذکورة
فی ١٢ من شهر رجب سنة ١٢٧٠ هـ