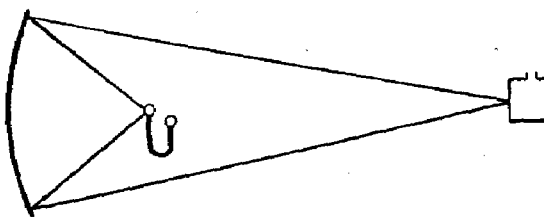


الباب الخامس عشر

قوانين الاشعاع

٤٢١ — العلاقة بين امتصاص الاجسام وابتعاثها وعكسها للاشعاع

أجريت تجارب عدة للمقابلة بين ابتعاث الاجسام المختلفة للاشعاع وامتصاصها وعكسها له ودلت بوجه عام على أن الاجسام الشديدة الامتصاص للاشعاع شديدة الابتعاث له ، وقليلة العكس له . ومن هذه التجارب ما أجراه « لزلى » ^(١) سنة ١٨٠٤ للمقابلة بين ابتعاث الاجسام المختلفة للاشعاع الحرارى . واستعمل « لزلى » مكعباً أجوف من القصدير قد كسى كل جانب من جوانبه الرأسية من الخارج بطبقة من المادة المراد اختبارها ، بحيث اذا ملئ المكعب ماء ساخناً فى درجة معينة من الحرارة ابتعثت جوانبه الرأسية اشعاعاً تتوقف شدته ويتوقف نوعه على نوع المادة . ويعرف المكعب « بمكعب لزلى » . وتتأخص طريقة لزلى فى هذه التجارب فى أن يضع المكعب بحيث يكون أحد جوانبه الرأسية (انظر شكل ٣٢٩) عند البؤرة البعيدة لمرآة من القصدير سطحها مدور القطع الناقص ويضع فى البؤرة القريبة من المرآة منتفخ ترموسكوب فرقى فالاشعاع المنبعث من جانب المكعب ، الجانب الموجه الى السطح العاكس ، يلم ، بعد



(شكل ٣٢٩)

انعكاسه، عند المنتفخ . فاذا كان معدل الاشعاع

المنبعث فى الثانية من جانب المكعب كبيراً كانت

دلالة الترموسكوب الفرقى كبيرة . والعكس

بالعكس . ويمكن أن يستبدل بالترموسكوب

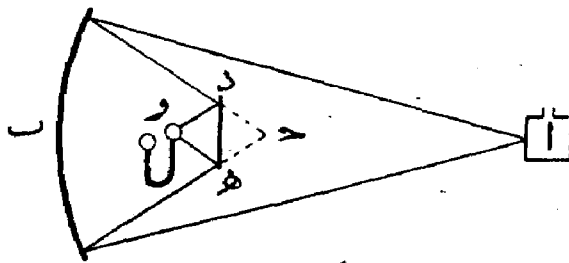
الفرق في هذه التجارب جهاز آخر يصلح للاستدلال على الاشعاع الحرارى كالترموبيل مثلاً وقد أعاد كثيرون تجارب لزلّ منهم «مملونى»^(١) و«دلابروفوستاى»^(٢) و«دسين»^(٣) وبينت تجارب الآخرين أن أشد الاجسام ابتعاثاً للاشعاع هو السناج . واذا قوبلت المواد الأخرى به كان ابتعاث الخبر الاسود مثلاً ٨٨ فى المائة من ابتعاث السناج وابتعاث البلاتين ١١ فى المائة والنحاس ٥ فى المائة والفضة ٢ أو ٣ فى المائة . ودلت تجاربهما على أن هذه النسبة ليست واحدة فى جميع درجات الحرارة فإذا أخذ لوح من البلاتين وكسى أحد وجهيه بالسناج والآخر بالمادة المراد مقابلتها ووضع على كل من جانبي اللوح ترموبيل موصل بجلفانومتر وسخن اللوح بوساطة التيار الكهربائى فان النسبة بين انحرافى الجلفانومتريين لا تظل ثابتة فى جميع درجات الحرارة

وأجرى « لزلّ » تجارب للمقابلة بين امتصاص المواد المختلفة للاشعاع وتوخى فيها طريقة مشابهة للطريقة السابقة ، لولا أنه كسا منتفخ الترموسكوب بالمادة المراد اختبارها . وجعل مصدر الاشعاع واحداً وفى درجة واحدة من الحرارة . ولكن نظراً لأن الترموسكوب تستقر دلالاته ، عند ما يكون معدل ما تمتصه المادة المكسوها المنتفخ مساوياً معدل ما تبتعثه ، وابتعاث المواد المختلفة يختلف باختلاف المواد ، فان قراءات الترموسكوب لا يصح اعتبارها مقياساً للامتصاص دون الابتعاث ، لذلك أجرى «دلابروفوستاى» و«دسين» تجارب ابتداء فيها أولاً بإيجاد معدل برودة ترمومتر مكسو منتفخ بالمادة المراد اختبارها ، فى درجات مختلفة من الحرارة . فإذا عرض الترمومتر بعد ذلك لمصدر الاشعاع ، وامتص جانباً من الاشعاع ، وأخذت درجة حرارته فى الارتفاع حتى تستقر فى درجة ثابتة ، حينئذ يكون معدل الامتصاص مساوياً معدل الابتعاث ، وهذا يمكن تقديره اذ يساوى حاصل ضرب السعة الحرارية فى معدل البرودة عند درجة الحرارة التى ثبت عندها الترمومتر

وقد دلت التجارب على أن المواد الشديدة الابتعاث شديدة الامتصاص ، ودلت أيضاً على أن امتصاص المادة الواحدة للاشعاع يختلف باختلاف مصدر هذا الاشعاع . فإذا اعتبرنا اختلاف الاشعاع الصادر من المصادر المختلفة هو اختلاف فى الطول الموجى أو بالأحرى فى نسبة ما هو

موجود فيه من الاشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة فإن هذه النتائج تدل على أن الجسم المعين قد يمتص اشعاعاً ذا طول موجي معين بمقدار يختلف عن مقدار ما يمتصه من اشعاع ذي طول موجي آخر . وهذا يتفق وما هو معروف في الاشعاع الضوئي . فالجسم الاحمر مثلاً اذا وقع عليه اشعاع ضوئي نسبة ما هو موجود فيه من الضوء الاحمر كبيرة ، كان امتصاصه لهذا الاشعاع ضعيفاً ، أما اذا وقع عليه ضوء نسبة ما هو موجود فيه من الضوء الاحمر صغيرة كان امتصاصه شديداً

وأجرى لزلى تجارب للبقابلة بين ما ينعكس عن سطوح المواد المختلفة من الاشعاع . وطريقته في ذلك كالمبينة في شكل (٣٣٠) حيث اتخذ كمصدر للاشعاع مكعباً ١ من مكعباته ، وجعله في البؤرة البعيدة لمرآة ب من المعدن سطحها مدور القطع الناقص . وجعل بين هذه المرآة وبين البؤرة القريبة منها لوحاً د ه من المادة المراد اختبارها ، وجعل عند و (وهي نقطة على امتداد العمود الواقع من ح على د ه وعلى بعد من د ه يساوى بعد ح عنه) متنفخ الترموسكوب ،



(شكل ٣٣٠)

فالاشعاع الصادر من المصدر ١ والواقع على

المرآة ب ينعكس نحو اللوح د ه ثم ينعكس

عنه ملبوماً عند متنفخ الترموسكوت ، فإذا

كان هذا اللوح شديد العكس للاشعاع كانت

دلالة الترموسكوب مرتفعة ، والعكس بالعكس . وقد دلت التجارب التي من هذا القبيل على أن السطوح المعدنية المصقولة ، التي هي ضعيفة الابتعاث وضعيفة الامتصاص للاشعاع هي شديدة العكس له

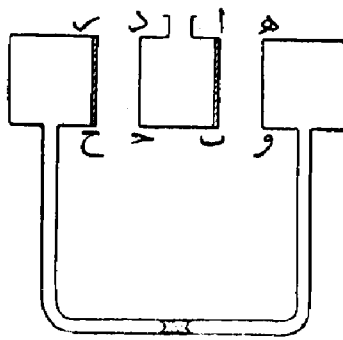
٤٢٢ - شدة الامتصاص وشدة الابتعاث : تجربة راتشى

وتعرف شدة امتصاص الجسم للاشعاع بالنسبة بين ما يمتصه من طاقة الاشعاع أو كميته وبين طاقة الاشعاع الواقع عليه أو كميته . وقد بينت التجارب بوجه عام أن السناج أشد الاجسام امتصاصاً للاشعاع وهو يكاد يمتص كل ما يقع عليه من الاشعاع أياً كان نوعه (أى

أيًا كان طوله الموجي) ولذلك كثيراً ما يعبر عن الجسم الوهمي الذي يمتص كل ما يقع على سطحه من الاشعاع، وتعد شدة امتصاصه الواحد بالقول أنه تام السواد. وشدة امتصاص الجسم بوجه عام، تختلف باختلاف الطول الموجي للاشعاع كما أشرنا الى ذلك في البند السابق

وتعرف شدة ابتعاث الجسم للاشعاع بنسبة طاقة الاشعاع الذي ينبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطحه الى طاقة الاشعاع الذي ينبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح جسم أسود تام السواد في درجة الحرارة نفسها. وقد دلت التجارب التي ذكرت في البند السابق على أن الجسم الشديد الامتصاص للاشعاع شديد الابتعاث له

ويمكن بيان العلاقة بين شدة الامتصاص وبين شدة الابتعاث بتجربة بسيطة تعرف بتجربة « رتشي »^(١). وجهازها يتركب كما بشكل (٣٣١) من مكعب لزلى ا ب ح د موضوع في منتصف المسافة بين مكعبين أجوفين من المعدن متصلين بانبوبة ذات شعبتين كالمبين بالشكل في الجزء الأفقي منها قطره من سائل. فيعمل المكعبان والانبوبة عمل ترموسكوب فرقي. وأحد السطحين الجانبين من مكعب لزلى وليكن ا ب مثلاً، مكسو بطبقة من السناج، والسطح المقابل



(شكل ٣٣١)

له وهو ح د مكسو بطبقة من المادة المراد اختبارها، والسطح ه و المواجه للاول في أحد المكعبين مكسو بطبقة من المادة المذكورة، والسطح المواجه للسطح ح د في المكعب الثاني، أي السطح رح مكسو بطبقة من السناج. والتجربة تدل على أنه اذا ملئ المكعب ا ب ح د ماء ساخن، فإن القطرة في

الانبوبة الأفقية لا تتحرك، دالاً ذلك على أن ما يمتصه السطح الاسود رح من الاشعاع المنبعث من السطح ح د مساو ما يمتصه السطح ه و من الاشعاع المنبعث من السطح الاسود ا ب فاذا رمزنا لكمية (أو طاقة) الاشعاع المنبعث في وحدة الزمن من السطح ا ب المكسو بالسناج بالحرف ١ ورمزنا لشدة امتصاص مادة السطح ه و بالحرف ٢. فإن كمية الاشعاع الذي يمتصه هذا السطح في وحدة الزمن تكون مساوية ١ ٢

كذلك اذا رمزنا بالحرف ϵ لكمية الاشعاع المنبعث في وحدة الزمن من السطح ϵ وهو المكسو بالمادة المراد اختبارها ، فنظراً لأن السطح ϵ من السناج وباعتبار أن شدة امتصاصه الواحد فان كمية الاشعاع الذي يمتصه السطح ϵ في وحدة الزمن تكون مساوية ϵ

$$\text{واذن } \epsilon = \epsilon$$

$$\frac{\epsilon}{\epsilon} = 1$$

أى أن شدة امتصاص المادة مساوية شدة ابتعاثها

٤٢٣ - نظرية التبادل

اذا وضع جسم بحيث يحيط به من جميع الجهات غلاف غير منفذ للاشعاع درجة حرارته ثابتة ، فان الجسم اذا كان أعلى درجة من الغلاف يفقد جزء من حرارته بطريق الاشعاع حتى تتعادل درجته ودرجة حرارة الغلاف ، واذا كان أخفض درجة يكتسب بطريق الاشعاع حرارة حتى تتعادل درجته ودرجة حرارة الغلاف واذا أخذ الجسم بعد ذلك ووضع في باطن غلاف آخر في درجة ثابتة من الحرارة استمر في الابتعاث أو الامتصاص حتى يحصل التعادل بينه وبين المحيط وعند حدوث التعادل الحرارى بين الجسم وبين المحيط فان الجسم لا يقطع عن الابتعاث أو الامتصاص وانما يبتعث بقدر ما يمتص فتبقى درجة حرارته ثابتة ويظل في حالة تعادل حرارى مع المحيط

هذه النظرية التى تقرر استمرار حدوث الابتعاث والامتصاص عند التعادل الحرارى ، كان « بروفوست »^(١) أول من ذهب اليها ، وتعرف بنظرية التبادل^(٢) لانها تقرر استمرار تبادل الطاقة أو الاشعاع بين الجسم وبين الغلاف المحيط به ، حتى اذا كانا في حالة تعادل حرارى . ومن أخطر نتائج هذه النظرية أن الاشعاع في باطن غلاف غير منفذ وفي درجة ثابتة من الحرارة ذو قدر ثابت ومن نوع ثابت في جميع النقط الموجودة في الداخل ، ولا يختلف باختلاف جدران الغلاف ولا باختلاف شكله ، ولا يتوقف الا على درجة الحرارة . ولا يصحاح هذه النتيجة

نقول أن ابتعاث الجسم للاشعاع يتوقف على درجة حرارته ومساحة سطحه ونوع هذا السطح فإذا فرضنا أن جسماً معيناً أصبح في حالة تعادل حرارى مع الغلاف المحيط به في درجة معينة من الحرارة، فإنه طبقاً لنظرية التبادل يمتص بقدر ما يبعث . وبما أن له شدة امتصاص معينة، كان حتماً أن يكون مقدار ما يقع عليه من الاشعاع في وحدة الزمن واحداً أينما وضع الجسم في باطن الغلاف بل كان حتماً أن يكون نوع هذا الاشعاع واحداً أيضاً، لأنه إذا كانت شدة امتصاص هذا الجسم لنوع معين من الاشعاع (أى ذى طول موجى معين) غيرها لنوع آخر، وكان ما يقع عليه من نوعى الاشعاع في موضع في باطن الغلاف غيره في موضع آخر فإن طاقة الاشعاع أو كميته التى يمتصها في الموضعين لا تكون واحدة، وينتفى حدوث التعادل الحرارى في الموضعين أو على الأقل في أحدهما . وبما أن الجسم إذا كان في حالة تعادل حرارى مع غلاف من مادة معينة ثم نقل الى باطن غلاف آخر من مادة أخرى وفي درجة الحرارة نفسها صار في حالة تعادل حرارى مع هذا فإن استمرار تعادله مع الغلاف الثانى يتطلب أن يكون الاشعاع في الغلافين بقدر واحد ومن نوع واحد

واذن الاشعاع في باطن غلاف جدرانه في درجة من الحرارة منتظمة ثابتة، يكون واحداً في السكم والكيف، ولا يتوقف الا على درجة الحرارة

ويسمى أحياناً الاشعاع في باطن غلاف في درجة منتظمة ثابتة من الحرارة « اشعاع الجسم الأسود التام السواد^(١) » باعتبار أن الجسم الأسود تام الابتعاث تام الامتصاص للاشعاع، لأنه إذا وضع الجسم الأسود في باطن الغلاف وصار الجسم في حالة تعادل مع الغلاف واعتبرنا شدة الامتصاص الواحد، فالتعادل يتطلب أن يكون الاشعاع الواقع على الجسم الأسود مساوياً كما وكيف الاشعاع المنبعث منه في تلك الدرجة

ومن المعروف أن السناج وهو أشد الأجسام المعروفة حلكة وسواداً لا يمتص كل الاشعاع الواقع عليه، بل يعكس أو ينثر جزءاً منه، فإذا وضع في باطن غلاف وصار في حالة تعادل حرارى معه، فإن الاشعاع المنبعث منه يعادل الذى يمتصه فحسب . وهذا جزء من الاشعاع

الموجود في باطن الغلاف ^(١) . فكأن الاشعاع المنبعث من السناج وهو أشد المواد المعروفة سواداً أقل من الاشعاع الموجود في باطن غلاف في حالة تعادل حرارى معه . ولهذا السبب يطلق عادة على الاشعاع في باطن غلاف في درجة منتظمة ثابتة من الحرارة اسم « الاشعاع التام » ^(٢) في تلك الدرجة

٤٢٤ — قانون كرتشهوف

الاشعاع المنبعث من جسم معين في درجة معينة من الحرارة ليس جميعه من نوع واحد بل يتكون من أنواع مختلفة ذات أطوال موجية مختلفة . فإذا راعينا اشعاعاً معيناً ذا طول موجى معين فإن كمية هذا الاشعاع المنبعث من الجسم في الدرجة المعينة يكون لها قدر معين يختلف عن قدر ما ينبعث من الجسم نفسه في درجة الحرارة نفسها من اشعاع آخر ذى طول موجى آخر اذن تكون شدة ابتعاث الجسم في درجة معينة من الحرارة متوقفة على الطول الموجى للاشعاع كما أن شدة امتصاصه تكون متوقفة أيضاً على الطول الموجى

وقد كشف « كرتشهوف » قانوناً ينص على أن شدة امتصاص الجسم وهو في درجة معينة من الحرارة لاشعاع ذى طول موجى معين ، مساوية شدة ابتعاثه وهو في تلك الدرجة لهذا الاشعاع . ويمكن اعتبار تجربة « رتشى » مؤيدة لهذا القانون لولا أن الاشعاع في هذه التجربة ليس من نوع واحد أى ليس ذا طول موجى معين . وقانون كرتشهوف يمكن اثباته على أساس نظرية التبادل والخواص التى سبق بيانها للاغلفة ذات الدرجة المنتظمة الثابتة

فإذا فرضنا أن جسماً في حالة تعادل حرارى في باطن غلاف في درجة معينة من الحرارة ، ورمزنا لشدة امتصاص الجسم لاشعاع ذى طول موجى معين بالحرف μ ، ولطاقة الاشعاع الذى من هذا النوع والذى ينبعث من وحدة سطوحه في وحدة الزمن وهو في تلك الدرجة بالحرف ϵ ، ورمزنا لطاقة الاشعاع الذى من هذا النوع والذى يقع على وحدة سطوحه في وحدة الزمن من

(١) كما يستنبط من التعادل الذى يحدث بين جسم نقرضه يمتص كل ما يقع عليه من الاشعاع وبين الغلاف المحيط به

Full Radiation (٢)

الاشعاع التام الموجود داخل الغلاف بالحرف κ ، كانت الطاقة التي تمتصها وحدة المساحة من سطح الجسم في وحدة الزمن من الاشعاع المذكور هي

$$\kappa$$

وطبقاً لنظرية التبادل يساوى هذا ، الاشعاع المنبعث من وحدة المساحة في وحدة الزمن واذن

$$\kappa = \epsilon$$

واذا استبدل بهذا الجسم جسم أسود تام السواد شدة امتصاصه الواحد ، ورمز بالطاقة الاشعاع الذى من النوع المذكور وينبعث من وحدة المساحة من سطح الجسم الأسود في وحدة الزمن بالحرف ϵ فنظراً لأن هذا الجسم يمتص كل ما يقع عليه من الاشعاع ، فإن ما تمتصه وحدة المساحة من سطحه في وحدة الزمن يساوى κ ، وعلى حسب نظرية التبادل يكون

$$\kappa = \epsilon$$

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\epsilon} = \tau$$

أى يساوى نسبة ما ينبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح الجسم الى ما ينبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح جسم أسود تام السواد في درجة الحرارة نفسها وهو ما يسمى طبقاً للتعريف شدة الابتعاث

وكذلك ينتج أن

$$\tau = \frac{1}{\kappa}$$

أى أن نسبة ما ينبعث من وحدة المساحة في وحدة الزمن من سطح جسم معين ، الى شدة امتصاص هذا الجسم وهو في الدرجة نفسها لهذا الاشعاع ، هذه النسبة تساوى طاقة الاشعاع ذى الطول الموجى المذكور الذى ينبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح جسم أسود تام السواد في الدرجة نفسها . وتكون هذه النسبة واحدة لجميع الأجسام . وكثيراً ما يكون قانون كرتشوف محمولاً على هذا المعنى

٤٢٥ - أمثلة من تطبيقات قانون كرتشوف

قانون كرتشوف بصورته الوصفية ينص بإيجاز على أن الجسم الذى يبعث من جراء ارتفاع درجة حرارته اشعاعاً معيناً ، يمتص هذا الاشعاع عند وقوعه عليه . وللقانون فى صورته الوصفية أمثلة كثيرة تعززه . فإذا أخذت قطعة من الخزف المصقول الأبيض وكان على سطحها نقش أو أو زخرف أسود ، وسخنت القطعة فى لهب البورى مثلاً الى درجة الابيضاض ، فإن الأجزاء السوداء من سطحها ترى شديدة الابتعاث للضوء ، والأجزاء البيضاء ضعيفة الابتعاث . كذلك إذا سخنت صفيحة من البلاتين عليها نقط سوداء الى درجة الابيضاض ، فإن الضوء المنبعث من النقط السوداء يكون أشد من المنبعث من الأجزاء الأخرى من الصفيحة

والزجاج الشفاف ضعيف الامتصاص للضوء ، فإذا سخنت انبوبة من الزجاج الى درجة الابيضاض ، فإن شدة الضوء المنبعث منها تكون ضعيفة اذا قوبلت بشدة الضوء المنبعث من سلك من الحديد مثلاً قد سخن الى الدرجة نفسها

ومن المعلوم أن اللوح التورمالينى يمتص الشعاع المعتاد بنسبة أكبر من امتصاصه الشعاع الغير المعتاد ، فإذا سخن الى درجة الابيضاض ينتظر طبقاً لقانون كرتشوف أن يبعث اللوح من الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً فى اتجاه عمودى على اتجاه استقطاب الضوء الذى ينفذ منه فى الحالات المعتادة أكثر من الضوء المستقطب فى هذا الاتجاه . وقد عززت التجارب هذه النتيجة

وقد ذكر « وود » ^(١) أن أكسيدات « الاريوم » و « الديلميوم » إذا سخنت الى درجة الابيضاض ، ترى فى طيفها المتصل شرائط مضئية . وتمتاز هذه المواد عن سائر الأجسام الصلبة الأخرى بظهور هذه الشرائط فى طيف الضوء المنبعث عنها عند تسخينها فالجسم الصلب بوجه عام اذا توهج بتأثير الحرارة كان طيف ضوئه متصلًا . وقد وجدت الشرائط المذكورة منطبقة بالتقريب على مواضع الشرائط المظلمة فى أطيايف امتصاص هذه المواد . دالاً ذلك على انقيادها

للقانون . والمواد التي نحصل على أطيايف اشعاعها الخطية أو الشريطية بوسائل أخرى غير التسخين وان كانت خارجة عن دائرة قانون كرتشهوف ، فان لها بوجه عام أطيايف اشعاع تنطبق على أطيايف امتصاصها ، وهى بذلك تنقاد الى قانون كرتشهوف فى صورته الوصفية وقد سبق أن أشرنا الى ذلك فى الباب السابق ، ولكنها لا تنقاد اليه انقياداً كيمياً ، يتوافر فيه شرط المعادلة

$$\epsilon = \frac{1}{r}$$

التي تقدم ذكرها فى البند السابق

ويلاحظ طبقاً للمعادلة المذكورة أن طاقة (أو كمية) الاشعاع ذى الطول الموجى المعين الذى ينبعث فى وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح جسم ما فى درجة حرارة معينة لا يمكن أن يتجاوز مقدارها طاقة (أو كمية) الاشعاع ذى الطول الموجى نفسه الذى ينبعث فى وحدة الزمن من وحدة المساحة من سطح جسم أسود تام السواد فى درجة الحرارة نفسها . وقد أجرى «باشن»^(١) تجارب قابل فيها بين شدة ضوء خطى الصوديوم عند الحصول على هذا الضوء بالطريقة المعتادة وبين شدة الضوء فى المنطقة المجاورة لهذين الخطين من طيف الضوء المنبعث من جسم أسود مسخن فى اللهب نفسه ، ودلت تجاربه على أن شدة ضوء خطى الصوديوم تتجاوز شدة الضوء فى المنطقة المذكورة ، ويتخذ هذا دليلاً على أن اشعاع بخار الصوديوم عند ادخال الملح فى اللهب ليس ناتجاً عن ارتفاع درجة الحرارة فحسب وانما هناك عوامل أخرى غير عامل الحرارة لها أثرها فى احداث الضوء

٤٢٦ — الجسم التام الابتعاث التام الامتصاص : الجسم الاسود التام السواد

وان كانت التجارب تدل على أن السناج أشد الاجسام امتصاصاً للاشعاع وأشدّها ابتعاثاً له فانه لا يمتص كل الاشعاع الواقع عليه ، بل يعكس أو ينثر جانباً منه . فهو قاصر عن أن يكون

أسود تام السواد بالمعنى النظرى . ولكن الخواص التى سبق ذكرها للاغلفة غير المنفذة التى تحفظ جدرانها فى درجة منتظمة ثابتة من الحرارة ، تدل على أن الاشعاع فى باطن الغلاف اشعاع تام . لذلك أمكن عملياً استخدام الغلاف ذى الدرجة المنتظمة الثابتة لتحقيق المثل الاعلى للجسم الأسود التام السواد . والطريقة التى اتبعت فى ذلك أن يحمل فى أحد جدران الغلاف فتحة صغيرة . فالاشعاع الذى ينبعث من هذه الفتحة الى الخارج يمكن اعتباره الاشعاع التام فى درجة حرارة الغلاف وكلما زادت الفتحة ضيقاً كان الاشعاع الصادر منها أقرب الى الاشعاع التام . وكما أن الفتحة تعتبر مصدراً للاشعاع التام ، فهى تقوم أيضاً بمقام الجسم التام الامتصاص ، لان الاشعاع الواقع عليها من الخارج أياً كان نوعه وأياً كان مقداره ، ينفذ الى داخل الغلاف ، فيعانى فى الداخل انعكاساً أو انتثاً ، أو يكون احتمال خروجه من الفتحة مرة أخرى ضعيفاً جداً ، لا سيما اذا كانت جدران الغلاف من الداخل مكسوة بالسناج

يتبين من هذا أن الفتحة الصغيرة فى غلاف غير منفذ ، جدرانه من الداخل مكسوة بالسناج ، ودرجة حرارته منتظمة ثابتة ، تقوم مقام الجسم الأسود التام السواد ، أى التام الابتعاث ، التام الامتصاص للاشعاع ، ويكون الاشعاع الصادر منها الى الخارج هو الاشعاع التام فى درجة حرارة الغلاف . وقد طبقت هذه الفكرة فى التجارب العملية التى أجريت لقياس طاقة الاشعاع المنبعث من الجسم التام السواد ، وسيجىء ذكر ذلك فيما بعد

٤٢٧ — قانون ستيفان

ذكرنا فيما سبق أن الاشعاع المنبعث من الجسم يتوقف مقداره أو مقدار طاقته على مساحة سطح الجسم ونوع سطحه وعلى درجة حرارته . وقد كشف « ستيفان » (١) سنة ١٨٧٩ قانوناً يدل على علاقة مقدار هذه الطاقة بدرجة حرارة الجسم ، والقانون ينص على أن هذه الطاقة تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى القوة الرابعة أى الرأس الرابع . واهتدى ستيفان

الى هذا القانون بنتيجة لتجربة أجراها « تندال » قابل فيها بين الطاقة المنبعثة من سلك من البلاتين في درجتين مختلفتين من الحرارة ، فأرى ستيفان أن النسبة بين الطاقتين كالنسبة بين الدرجتين المطلقتين مرفوعتين الى الأس الرابع . وكان قد أجرى « دولنج » و « بتي » (١) تحارب تلخص في إيجاد معدل برودة ترمومتر زئبقى ذى مستودع كبير كانا يسخنانه الى ما يقرب من درجة ٣٠٠ مئوية ، ويضعانه في باطن اناء كرى من النحاس محفوظ في درجة ثابتة من من الحرارة . فدرس ستيفان نتائج هذه التجارب عليها تكون متفقة والقانون المذكور فوجدها كذلك وان كان قد اتضح من بعد كشف قانون ستيفان أن تجربة تندال التي كانت السبب في كشفه ، مشكوك في صحتها ، فقد أجريت تجارب مستفيضة سيأتى ذكرها فيما بعد ، دلت على أن القانون صحيح بالنسبة الى الاشعاع التام المنبعث من الجسم الأسود التام السواد ، لا بالنسبة الى الاشعاع المنبعث من الجسم بوجه عام . كذلك اتخذت ظاهرة الضغط الضوئى أو الضغط الاشعاعى أساساً أنبنى عليه تطبيق قواعد علم الديناميكا الحرارية لاثبات القانون نظرياً فيما يتعلق بالاشعاع التام ، وسنبين ذلك فيما يأتى

٤٢٨ — الضغط الضوئى وبياناه عملياً

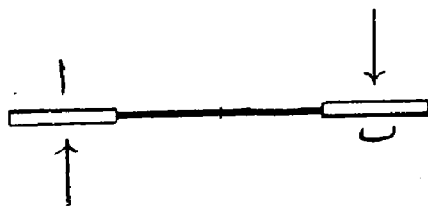
من نتائج النظرية المغناطيسية الكهربية التي وضعها « مكسول » أن للضوء أو للاشعاع الذى ماهيته كاهية الضوء ضغطاً يعانى السطح الواقع عليه الضوء أو الواقع عليه الاشعاع نسميه « السطح الضوئى » أو « الضغط الاشعاعى » (٢) وان قوة الضغط التي تؤثر في وحدة المساحات من الضغط تساوى عددا كمية الطاقة الحالية في وحدة الحجم من الوسط . فاذا كان السطح الواقع عليه الضوء مثلاً سطحاً عاكساً عاكساً تماماً كان مقدار الضغط الواقع عليه ضعف ما اذا كان سطحاً أسود تام السواد يمتص امتصاصاً تاماً . ولم تكن في الوقت الذى وضعت فيه النظرية أدلة عملية تبين حقيقة وجود هذا الضغط . فأجريت بحوث عملية تلخص في تهيئة صفيحة

Radiation Pressure (٢) Dulong and Petit (١)

رقيقة خفيفة بحيث تكون قابلة للدوران أو الحركة في اناء مفرغ من الهواء ، حتى اذا وقع الضوء أو الاشعاع على أحد وجهيها اخذت تحت تأثير الضغط الواقع على سطحها في الدوران أو الحركة في اتجاه هذا الضغط . ولكن كانت هناك عقبة حالت في التجارب الاولى دون بيان ذلك عملياً وكان « كروكس » (١) اول من أوضحها ، حيث كشف عن الظاهرة التي أطلق عليها اسم « الفعل الاشعاعي » ، أو « الفعل الغازي » واخترع لبيانها « الرديومتر » الذي سبق وصفه وشرع عمله في بند (١٣٠) فاتضح من بعد ذلك ان الاستدلال عملياً على الضغط الاشعاعي منوط بوقف ظاهرة الفعل الغازي أو اضعافها اضعافاً شديداً لأن أثرها في التجارب الاولى التي اجريت لبيان الضغط الاشعاعي ، يقوى على أثر الضغط نفسه

واول من اتيح له بيان الضغط الاشعاعي « لبدف » (٢) حيث اجرى سنة ١٩٠٠ تجارب اتخذ فيها صفائح رقيقة جداً من البلاتين ، بحيث اذا وقع الاشعاع على احد وجهي الواحدة منها لا يؤدي امتصاص هذا الاشعاع الى حدوث فرق يذكر في درجة الحرارة بين وجهي الصفيحة فيبطل أو يكاد يبطل الفعل الاشعاعي ، وتندفع الصفيحة في الحركة بتأثير ضغط الضوء أو الاشعاع الواقع عليها

واجرز « نكلز » (٣) و « هل » (٤) تجارب في هذا الموضوع كانت ادق واوسع نطاقاً من تجارب « لبدف » فاتخذوا قرصين صغيرين من الزجاج الرقيق جداً جعلاهما في نهايتي ساق خفيفة (شكل ٣٣٢) معلقة بسلك دقيق من الكوارتز في اناء كان يفرغ من الهواء على حسب الارادة ، وجعلوا احد وجهي كل من القرصين مفضضاً ، والوجه المفضض لآخر ، وجعلوا الاخر متجهاً في الاتجاه المضاد لاتجاه الوجه المفضض للآخر ، وجعلوا الاشعة الضوئية الواقعة على القرصين تنفذ خلال عدسات والواح من الزجاج حتى



(شكل ٣٣٢)

تتجرد قبل وقوعها على القرصين من الاشعاع الذي يمتصه الزجاج فاذا فرضنا لسهولة الشرح ان القرصين هما ا هـ ب (شكل ٣٣٢) وان السطح المفضض للاول متجه الى اعلى ، والثاني متجه

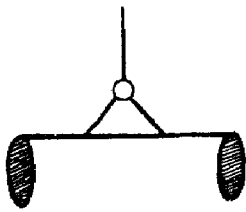
الى أسفل ووقع الضوء عليهما كما هو مبين بالسهمين فان الضغط الضوئى يعمل فى ادارة القرصين فى اتجاه حركة عقربى الساعة ، ولما كانت الاشعة الواقعة عليهما قد تجردت من الاشعاع الذى يمتصه الزجاج ، فالاشعة عند اختراقها زجاج كل من القرصين لا يمتص منها شئ ، وانما يكون الامتصاص مقصوراً على الحادث بفعل الطبقة الفضية المكسوبةا أحد وجهى القرص . ويعمل الفعل الغازى فى هذه الحالة على ادارة القرصين فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة ، واذا عكس اتجاه وقوع الضوء ، بحيث يقع الضوء عمودياً على السطح الأعلى للقرص ا وعلى السطح الأسفل للقرص ب ، فان الضغط الضوئى يعمل فى ادارة القرصين فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة والفعل الغازى الناشئ عن الامتصاص الحادث عند الطبقة الفضية يعمل فى ادارة القرصين فى عكس اتجاه حركة عقربى الساعة كما فى الحالة الأولى . فيكون تأثير الفعل الغازى فى الحالة الأولى مضاداً لتأثير الضغط الضوئى وتأثيره فى الحالة الثانية متفقاً وتأثير الضغط الضوئى ، واذا كان الانحراف الحادث فى الحالة الأولى أقل منه فى الثانية وان كان الفعل الغازى الحادث عن الامتصاص عند الطبقة الفضية صغيراً لأن امتصاص السطوح المعدنية المصقولة ضعيف ، ويمكن تلافى الخطأ المترتب عليه بعكس اتجاه وقوع الضوء كما ذكر آنفاً ، فان « نكلز » و « هل » زيادة فى الدقة واقلالا للفعل الغازى اتبعاً طريقة الدفع الفجائى فى توجيه الضوء نحو القرصين . فتأثير الفعل الغازى يستغرق وقتاً معيناً حتى يصل الى نهاية شدته ، أما تأثير الضغط الضوئى فجائى ، فاذا استغرق وقوع الاشعة على القرصين برهة وجيزة ، كان الفعل الغازى فى مبدئه و كان أثره ضعيفاً جداً

على هذا الأساس أجرى نكلز وهل تجاربهما ، وكانا يقيسان زاوية الانحراف أو زاوية اللي فى السلك الكوارتزى بالطريقة الضوئية التى تلخص فى مشاهدة انحراف حزمة ضوئية منعكسة عن سطح مرآة خفيفة مثبتة على الجزء القابل للدوران وقد درساً بتوسع تأثير ضغط الهواء فى الفعل الاشعاعى الوارد فى هذه البحوث ، وبينت التجارب أن الفعل الاشعاعى يباغ نهاية صغرى عند ما يكون الضغط معادلاً ضغط ١٦ مليمتراً من الزئبق

وكان مصدر الضوء فى تجاربهما قوساً فولتياً ، وقدر طاقة الاشعاع الواقع على كل من

القرصين بإسقاط الضوء على قرص من الفضة مكسو بطبقة من السناج ومتصل به ملتقى معدنين مختلفين ، فيمتص القرص الطاقة الواقعة عليه وترتفع درجة حرارته بمقدار يمكن قياسه بوساطة الملتقى ، فيمكن تقدير كمية الحرارة التي امتصها . ودلت النتائج على أن قيمة الضغط الضوئي متفقة وما يستنبط نظرياً

وقد توخى « بوينتنج »^(١) طريقاً آخر للتخلص من أثر الفعل الغازي في بيان الضغط الاشعاعي . فاذا هيء السطح الواقع عليه الاشعاع بحيث كان غير قابل للدوران بتأثير القوى العمودية عليه ، وقابلاً للدوران بتأثير القوى الموازية له أو المنطبقة عليه (انظر شكل ٣٣٣) بطل أثر الفعل الغازي ، في ادارته . لأن الفعل الغازي يترتب عليه وجود قوة تدفع السطح في اتجاه عمودي عليه . فاذا وقع الاشعاع أو الضوء بحيث كان اتجاهه مائلاً على السطح ، تحلل قوة الضغط الى مركبتين ، احدهما عمودية على السطح وهذه لا أثر لها في الدوران ، والاخرى موازية للسطح وهذه هي التي تحدث الدوران ، فاذا كان السطح عاكساً الاشعاع



(شكل ٣٣٣)

عكساً تماماً فركبة القوة الحادثة بفعل الاشعة الساقطة ومركبة القوة الحادثة بفعل الأشعة المنعكسة تكونان متساويتين . وفي اتجاهين متضادين ، فتتعادلان . اما اذا كان السطح أسود يمتص امتصاصاً تاماً

عدمت الاشعة المنعكسة وأثرت مركبة ضغط الاشعة الساقطة على حداثها فيعاني السطح قوة تدفعه في اتجاه هذه المركبة

والجهاز الذي استخدمه « بوينتنج » يتركب من قرصين من الزجاج الرقيق . مثبتين في نهايتي ساق خفيفة من الزجاج بحيث يكون القرصان عموديين على الساق (شكل ٣٣٣) فلا يكون للقوى العمودية على مستوى القرصين ازدواج ما يعمل في ادارة الجهاز ، والساق معلقة بسلك من الكوارتز ومثبت بها مرآة صغيرة يتسنى بوساطتها قياس الدوران . وأحد القرصين مكسو بطبقة من السناج ، وهذا الذي تصوب اليه الاشعة والاخر مكسو بطبقة من الفضة . والجهاز معلق في اناء من الشبه بحيث يمكن خلخلة هوائه الى ضغط يعادل سنتيمتراً من الزئبق وبالاناء فتحة مركب عليها لوح من الزجاج ينفذ منها الضوء الى الداخل

٤٣٩ - تعريفات : شدة الاشعاع والاشعاع الكلى وكثافة الطاقة

نورد هنا قبل الخوض فى سرد قوانين الاشعاع المصطلحات المتعلقة بهذه القوانين ، والمعاني المدلول عليها بهذه المصطلحات

(أولا) شدة الاشعاع

اذا فرضنا أن سطحاً ينبعث منه الاشعاع ، وأخذنا نقطة a عليه ، وراعينا عندهذه النقطة مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز ΔS ، فانه كلما بعدنا عن هذه النقطة فى الاتجاه العمودى على السطح قلت كمية الاشعاع الواقع فى وحدة الزمن على وحدة المساحات عمودياً عايتها طبقاً لقانون التربيع العكسى . فاذا راعينا نقطة b (شكل ٣٣٤) على استقامة العمود a b المقام على المساحة المذكورة وعلى بعد منها نرمز له بالحرف r أمكن اعتبار كمية الاشعاع أو طاقة الاشعاع الواقع فى وحدة الزمن عمودياً على وحدة المساحات فى تلك النقطة مساوية

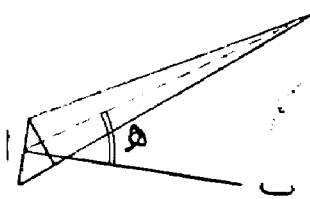
$$S = \frac{\Delta S}{r^2}$$

واذا راعينا عند b ، مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز ΔS ، عمودية على العمود a b فمقدار الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن على هذه المساحة يمكن اعتباره مساوياً

$$S = \frac{\Delta S}{r^2}$$

حيث تعرف S بشدة الاشعاع المنبعث من السطح عند a

اما اذا بعدنا عن السطح المشع فى اتجاه يصنع مع العمود عند a زاوية قدرها θ فالاشعاع الصادر من المساحة ΔS فى هذا الاتجاه يمكن اعتباره كأنه صادر من مساحة قدرها $\Delta S \cos \theta$ ، حتاه



(شكل ٣٣٤)

فى اتجاه العمود على هذه المساحة (انظر شكل ٣٣٤) ويمكن اعتبار مقدار الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن عمودياً على وحدة المساحات فى نقطة مثل b على بعد قدره r عن نقطة a

فى الاتجاه المذكور مساوياً

$$S = \frac{\Delta S \cos \theta}{r^2}$$

فإذا راعينا عند h مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز s_p وعمودية على a فمقدار طاقة الاشعاع الواقع على هذه المساحة في وحدة الزمن يكون مساوياً

$$\frac{s_p \cdot s \cdot \cos \theta}{r^2}$$

حيث تعرف s_p بشدة الاشعاع المنبعث في الاتجاه المذكور من السطح المشع عند a ويلاحظ في هذا المقدار أن

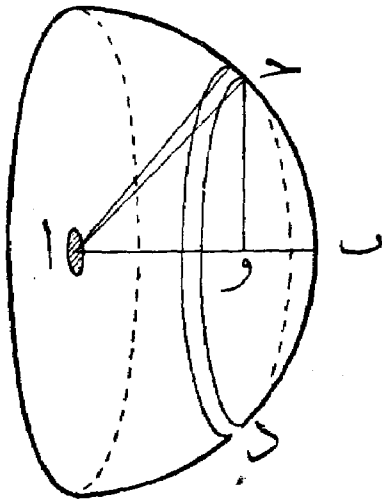
$$\frac{s_p \cdot s}{r^2}$$

يساوى الزاوية المجسمة التي تصنعها المساحة s_p . فإذا رمزنا لهذه الزاوية بالرمز التفاضلي $d\omega$ ، يتضح أن الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن من المساحة s_p ، من السطح المشع ، والتي تنبعث خلال المنطقة المحدودة بالمخروط الذي رأسه عند هذه المساحة وزاويته المجسمة $d\omega$ ، هذه الطاقة يمكن اعتبارها مساوية

$$s_p \cdot d\omega \cdot \cos \theta$$

حيث تكون θ الزاوية بين محور الزاوية المجسمة وبين العمود على السطح المشع. وتكون s_p في المقدار المذكور شدة الاشعاع المنبعث من السطح عند النقطة المذكورة (ثانياً) الاشعاع الكلي

والاشعاع الكلي المنبعث من المساحة التفاضلية من السطح ينبعث على هيئة نصف كرة تكون هذه المساحة في مركزها ومنطبقة على مستواها القطري ، فإذا رسمنا نصف كرة خارج السطح المشع مركزها المساحة التفاضلية عند a كما هو مبين بشكل (٣٣٥) فالاشعاع الواقع على سطح نصف الكرة هو الاشعاع الكلي الصادر من المساحة التفاضلية . فإذا رسم العمود ab على المساحة المذكورة وأخذنا نقطة ما مثل c على سطح الكرة ، وأسقطنا h وعموداً على ab ورمزنا للزاوية المحصورة بين ab و ac بالحرف ϕ



(شكل ٣٣٥)

ولتفاضلها بالرمز ω يتضح من الشكل أن الحاقة ذات السمك التفاضلي التي مركزها ω تكون مساحتها

$$2\pi \cdot \omega \cdot \sin \theta = 2\pi \cdot \omega \cdot \sin \theta$$

باعتبار أن ω رمز لنصف قطر الكرة

وطبقاً للتعريف السابق تكون طاقة الاشعاع الواقع في وحدة الزمن على هذه المساحة مساوية

$$\frac{2\pi \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \theta}{\omega}$$

باعتبار أن ω المساحة التفاضلية المشعة عند

واذن يكون مقدار طاقة الاشعاع الكلي الواقع في وحدة الزمن على سطح نصف الكرة مساوياً

$$\int_0^{\pi} 2\pi \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \theta \cdot d\theta$$

$$= 2\pi \cdot \omega^2$$

أي أن طاقة الاشعاع الكلي المنبعث في وحدة الزمن من وحدة المساحة من السطح المشع تساوي

$$2\pi \cdot \omega^2$$

(ثالثاً) كثافة الطاقة في الاشعاع التام

إذا فرضنا أن غلافاً ذا درجة منتظمة ثابتة من الحرارة ، بحيث يكون الاشعاع الموجود في باطنه هو الاشعاع التام في تلك الدرجة ، فإن الاشعاع المنبعث من السطح الداخلي للكرة نحو مركزها ينبعث من السطح عمودياً عليه ، فإذا راعينا مساحة تفاضلية من سطح الكرة قدرها ω ، فطاقة الاشعاع المنبعث من هذه المساحة في وحدة الزمن ويقع عمودياً على وحدة المساحة في المركز يكون مقدارها طبقاً لتعريف شدة الاشعاع مساوياً

$$\frac{2\pi \cdot \omega^2}{\omega}$$

وبما أن الطاقة الواقعة في وحدة الزمن على وحدة المساحات ، تساوي حاصل ضرب الطاقة

الموجودة في وحدة الحجم في سرعة انتقال الاشعاع ، ينتج أن الطاقة في وحدة الحجم عند

مركز الكرة من جراء الاشعاع المنبعث من المساحة التفاضلية dS من السطح يكون مقدارها مساوياً

$$\frac{S_1 dS_1}{r^2}$$

باعتبار أن d رمز لسرعة انتقال الاشعاع واذن تكون الطاقة في وحدة الحجم عند المركز من جراء الاشعاع المنبعث من جميع أجزاء سطح الكرة مساوياً

$$\frac{4\pi S_1}{d} = \int \frac{S_1 dS_1}{r^2}$$

وان كان هذا المقدار يساوي كثافة الطاقة عند مركز الكرة ، فمن الخواص المعروفة للأغلفة ذات الدرجة المنتظمة الثابتة ، أن الاشعاع في باطن الغلاف يكون واحداً في الكم والكيف في جميع النقط ، ولا يتوقف على شكل الغلاف ولا على نوع مادة جدرانه ، واذن ينتج أن كثافة طاقة الاشعاع التام في أية نقطة داخل غلاف في درجة ثابتة أيّاً كان شكله تساوي المقدار المذكور

٤٣٠ - اثبات قانون ستيفان برهان نظري

أثبت « بولتزمان » ^(١) نظرياً أن كثافة طاقة الاشعاع التام تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى الأس الرابع . ويتوقف برهانه على تطبيق قواعد الديناميكا الحرارية على الاشعاع التام في باطن الأغلفة ، وكان « برتولي » ^(٢) أول من تنبه الى امكان ذلك والفكرة الأساسية تلخص في اعتبار الفراغ في باطن الغلاف ذي الدرجة الثابتة شبيهاً بالمادة القابلة للتقلص أو التمدد الثابت الدرجة ^(٣) ، وللتقلص أو التمدد الثابت الحرارة ^(٤) ، فيكون من جراء ذلك قابلاً لدورة « كارنو » القابلة للعكس ^(٥) فالاشعاع في باطن الغلاف ، له ضغط يعانیه مثلاً

Isothermal (٣)

Bertoli (٢)

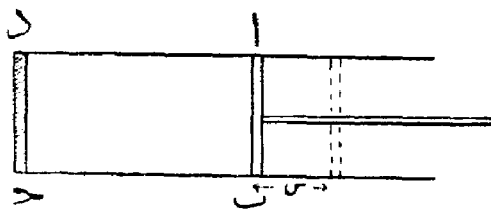
Boltzmann (١)

Carnot's Reversible Cycle (٥)

Adiabatic (٤)

سطح الغلاف . فاذا تمدد الغلاف عمل الضغط الاشعاعى شغلا ، وزاد الحجم المحدود بالغلاف فاذا كانت جدران الغلاف تامة الاشعاع وبقيت درجة حرارتها ودرجة حرارة الباطن في أثناء ذلك ثابتة تطلب التمدد أن يستمد باطن الغلاف اشعاعاً تعادل طاقته مقدار الشغل الذى عمله الضغط مضافاً اليه زيادة الطاقة الحالة في الحجم الممدود حتى يظل الاشعاع في الباطن كله الاشعاع التام في درجة الحرارة المذكورة ويكون التمدد في هذه الحالة شبيهاً بتمدد المادة في دورة « كارنو » تمدداً ثابت الدرجة . أما اذا امتنع الباطن من أن يستمد خلال التمدد الطاقة المذكورة ، فان الشغل الذى يعملها الضغط تستمد طاقته من طاقة الاشعاع الموجود في الباطن ، فتقل هذه الطاقة وتقل أيضاً كثافتها ، ويقل تبعاً لذلك الضغط الاشعاعى ، ويصير الاشعاع الموجود في الباطن اشعاعاً تاماً في درجة حرارة أخفض . ويكون التمدد في هذه الحالة شبيهاً بتمدد المادة في دورة كارنو تمدداً ثابت الحرارة

ولتطبيق هذه الفكرة لاستنباط قانون ستيفان ، نفرض اسطوانة من مادة عاكسة للاشعاع عاكساً تاماً بها مكبس ، ا ب (شكل ٣٣٦) قابل للانزلاق فيها من غير مقاومة ، ويعكس هو أيضاً الاشعاع عاكساً تاماً ، ولنفرض النهاية د د للاسطوانة من مادة تامة السواد ، ولنفرض



(شكل ٣٣٦)

السعة الحرارية لجدران الاسطوانة والمكبس

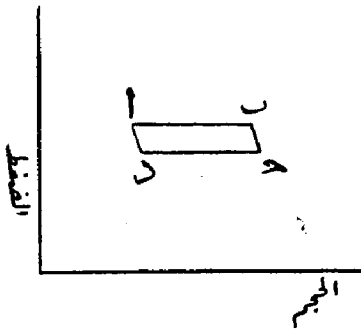
صغيرة يمكن اغفالها ، ولنرمز لدرجة الحرارة

المطلقة للجسم الاسود د د بالحرف د

فعند التعادل يكون الحجم المحدود بالمكبس

وبجدران الاسطوانة بمثابة باطن غلاف في درجة الحرارة المطلقة د ويكون الاشعاع الذى يملأه هو الاشعاع التام في هذه الدرجة . فاذا رمزنا لطاقة هذا الاشعاع في وحدة الحجم أى لكثافة الطاقة بالحرف د ، وللضغط الواقع على وحدة المساحات بالحرف ص ، وفرضنا مساحة المكبس قدرها الوحدة وانه تحرك مسافة قدرها د الى الخارج بحيث تبقى درجة الحرارة في الباطن ثابتة ، ويبقى الاشعاع التام واحداً ، فان الشغل الذى يعملها الضغط الاشعاعى يساوى

وتكون زيادة حجم الباطن هي s ، واذن زيادة الطاقة الباطنية s و يكون مجموع هذه الزيادة والشغل مساوياً الطاقة التي يلزم أن يستمدّها الباطن من الجسم الأسود ، في أثناء هذا التمدد ، ويكون هذا التمدد من قبيل التمدد الثابت الدرجة في دورة كارنو ، ويمثل بالخط ا ب (شكل ٣٣٧) حيث يبقى الضغط s ثابتاً ويزداد الحجم من القيمة المدلول عليها بالنقطة ا الى القيمة المدلول عليها بالنقطة ب . فاذا رمزنا لمقدار الحرارة أو الطاقة التي



تستمد من المصدر بالحرف $ح$ ، فإن

$$ح = ص s + و s$$

فاذا فرضنا بعد ذلك أن الجسم الاسود $د > (٣٣٦)$ قد حجب عن باطن الغلاف (ويمكن حدوث ذلك اذا فرضنا أن

صفیحة رقیقة عاكسة ذات سعة حرارية صغيرة ، قد وضعت في باطن الغلاف قريبة من السطح $د$ تكاد تلمسه) وفرضنا أن المكبس استمر في الحركة الى الخارج مسافة قدرها s ، فان الشغل الذي يعملّه الضغط الاشعاعي يستمد من طاقة الاشعاع في الباطن ، فتقل هذه الطاقة ، وبما أن الحجم قد ازداد فان كثافة الطاقة تقل أيضاً ، ويقل تبعاً لكل ذلك ، الضغط الاشعاعي واذن يكون الاشعاع الموجود في الباطن اشعاعاً تاماً في درجة مطلقة أخفض ، فاذا رمزنا لنقص الضغط الاشعاعي بالرمز s ، ولنقص الدرجة المطلقة بالرمز $و$ ، فان هذا التمدد يكون من قبيل التمدد الثابت الحرارة ويمثل في (شكل ٣٣٧) بالخط ب ج حيث يبلغ الحجم القيمة المدلول عليها بالنقطة ج و ينقص الضغط بالمقدار المذكور فتصير قيمة s - و s . وتصير قيمة الدرجة $و$ - و $و$

فاذا فرضنا الآن أن الجسم الاسود $د$ (شكل ٣٣٦) قد استبدل به آخر أسود ، ولكن في درجة الحرارة $و$ - و $و$ ، وتعرض الباطن لهذا الجسم (بازالة الصفیحة المفروضة آنفاً) ، وحرك المكبس الى الداخل بحيث تبقى درجة الحرارة $و$ - و $و$ ثابتة ويبقى الاشعاع اشعاعاً تاماً في هذه الدرجة ويبقى ضغطه s - و s ثابتاً ، فان العملية تتطلب أن يستمد الجسم الاسود طاقة مساوية الشغل الذي يعمل ضد الضغط الاشعاعي مضافاً اليه الطاقة التي كانت حالة

في الحجم المتقلص ، وتكون العملية من قبيل التقلص الثابت الدرجة في دورة كارنو ، حيث يتعرب مقدار من الحرارة الى المكثف ، وتمثل في شكل (٣٣٧) بالخط ح د .

فاذا بلغ الحجم القيمة المدلول عليها بالنقطة د (شكل ٣٣٧) وحجب الجسم الاسود عن باطن الغلاف (بوساطة الحاجز المفروض) ، وتحرك المكبس الى الداخل زادت كثافة الطاقة وزاد الضغط ، وصار الاشعاع اشعاعاً تاماً في درجة حرارة أعلى فتعود درجة الحرارة الى القيمة لا ويعود الضغط الى القيمة صه ، وتكون العملية من قبل التقلص الثابت الحرارة وتمثل في (شكل ٣٣٧) بالخط د ا ، وتعود الحالة الى ما كانت عليه في الابتداء

فالدورة هنا تتكون من أربع عمليات وتشبه دورة كارنو ، وهي قابلة للعكس . والشغل الذي يعمل في أثناءها يمثل بمساحة الشكل ا ب ح د ويساوى س ، صه ، لأن زيادة الحجم من ا ← ب مرموز لها بالحرف س والبعد العمودى بين ا ب و د ح يمثل المقدار صه وطبقاً لنظريات الديناميكا الحرارية فان هذا الشغل يساوى

$$\frac{E}{\Delta} \cdot \Delta$$

حيث تكون قيمة ع مقدار الطاقة المستمدة من المصدر في درجة الحرارة المطلقة لا وبمأن

$$E = S + S_{\text{صه}} \\ S_{\text{صه}} + S = \frac{E}{\Delta} \cdot \Delta \dots \dots (1)$$

والضغط الاشعاعى الواقع على وحدة المساحات يساوى طبقاً لنظرية مكسول ، وكما دلت التجارب العملية ، الطاقة الحالة في وحدة الحجم . ولكن الاشعاع الواقع على السطح الداخلى للغلاف لا يقع كله عمودياً على السطح وانما يقع بميول مختلفة ، كما تقع جزيئات الغاز ، طبقاً لنظرية الحركة (١) في الغازات على جدران الاناء الذى يحوى الغاز . واذن يمكن اعتبار ثلث

الطاقة الحالة في وحدة الحجم مساوياً مقدار طاقة الاشعاع الواقع عمودياً على وحدة المساحات من السطح، كما يعتبر ثلث عدد جزيئات الغاز الموجودة في وحدة الحجم كأنها تتحرك في اتجاه عمودى على السطح الواقع عليه ضغط الغاز وعلى هذا الاعتبار يكون المقدار $\frac{1}{3} \rho v$ الذى يمثل ضغط الاشعاع مساوياً ثالث المقدار $\frac{1}{3} \rho v$ الذى يمثل طاقة الاشعاع التام في وحدة الحجم واذاً يكون

$$\frac{1}{3} \rho v = \frac{1}{3} \rho v + \frac{1}{3} \rho v$$

$$\frac{1}{3} \rho v = \frac{2}{3} \rho v$$

وبالتعويض في المعادلة (١) ينتج أن

$$\frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v} = \frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v}$$

$$\frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v} = \frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v}$$

$$\frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v} = \frac{\frac{1}{3} \rho v}{\frac{2}{3} \rho v}$$

ومنه ينتج أن

$$\rho v = \frac{2}{3} \rho v + \text{ثابتا}$$

$$\therefore \rho v \text{ تتناسب و } \frac{1}{3} \rho v$$

وهذا يثبت أن طاقة الاشعاع التام في وحدة الحجم، أى كثافة طاقة الاشعاع التام في باطن غلاف تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى الأس الرابع. ولما كان الاشعاع التام في باطن غلاف ذي درجة ثابتة هو الاشعاع المنبعث من جسم تام السواد في تلك الدرجة، وكثافة ذلك متناسبة وشدة هذا كما اتضح في البند السابق، ومتناسبة أيضاً وطاقة الاشعاع الكلى المنبعثة من

الجسم التام السواد ، ثبت بالبرهان المذكور أن شدة الاشعاع المنبعث من جسم أسود تام السواد أو طاقة الاشعاع الكلى المنبعث منه ، تتناسب ودرجة حرارته المطلقة مرفوعة الى الأس الرابع

٤٣١ — علاقة الحجم بدرجة الحرارة في التغيرات الثابتة الحرارة

رأينا فيما سبق أنه اذا تمدد الغلاف يعمل الضغط الاشعاعى فى أثناء التمدد شغلا ، فاذا كان التمدد ثابت الحرارة ، فهذا الشغل يستمد من طاقة الاشعاع الحالة فى باطن الغلاف ، فتقل هذه الطاقة وتقل كثافتها ، ويصير الاشعاع اشعاعاً تاماً فى درجة حرارة أخفض . ولايجاد العلاقة بين الحجم الباطنى وبين درجة الحرارة عند ما يكون التغير ثابت الحرارة نرمز للحجم الباطنى بالحرف ϵ ولدرجة الحرارة المطلقة بالحرف λ وكثافة الطاقة بالحرف ν وللطاقة الكلية فى الحجم كله بالحرف S ، فيكون

$$S = \nu \epsilon \quad (١)$$

فاذا ازاد الحجم بالمقدار ϵ ، وبالرمز لضغط الاشعاع بالحرف ν كان الشغل الذى يعمل به الضغط مساوياً

$$\nu \epsilon = \nu \epsilon$$

ويعادل هذا ، النقص فى الطاقة الكلية

ومن المعادلة (١) ينتج أن

$$S = \nu \epsilon + \nu \epsilon$$

$$\therefore \nu \epsilon = S - (\nu \epsilon + \nu \epsilon)$$

والاشارة السالبة تدل على أن الشغل الذى يعمل به الضغط عند زيادة الحجم يصحبه نقص فى

الطاقة الكلية

ومن المعادلة الأخيرة ، ينتج أن

$$\nu \epsilon = S - \nu \epsilon = \text{صفرًا}$$

$$\therefore \nu \epsilon = \text{مقداراً ثابتاً} \quad (٢)$$

وقانون ستيفان ، كما يتبين بالبرهان الوارد في البند السابق ، ينص على أن

$$v \text{ تتناسب و } \lambda^4$$

$$\text{أو } \frac{v}{\lambda^4} = \text{مقداراً ثابتاً} \dots \dots (3)$$

ومن المعادلتين (2) و (3) ينتج أن

$$\lambda^4 v = \text{مقداراً ثابتاً}$$

$$\text{أو } \lambda^4 v = \text{مقداراً ثابتاً} \dots \dots (4)$$

وتدل المعادلة الأخيرة على العلاقة المطلوبة بين درجة الحرارة والحجم في التغيرات الثابتة الحرارة وبما أن الجذر التكعيبي للحجم يتناسب والبعد الطولي ، ينتج من المعادلة (4) أنه إذا تمدد الغلاف تمدد ثابت الحرارة فإن درجة الحرارة المطلقة للغلاف تتناسب عكسياً وبعده الطولي ، فإذا راعينا غلافاً كرياً ورمزنا لنصف قطره في أية لحظة في أثناء التمدد بالرمز v فإن

$$\lambda^4 v = \text{مقداراً ثابتاً}$$

٤٣٢ — استنباط العلاقة بين الطول الموجي للاشعاع ودرجة الحرارة — قانون فين

سبق في ظاهرة « دبلر » بند (٤٠٣) أنه إذا رمز لتردد الموجات الصادرة من المصدر بالحرف n وتحرك المصدر بعيداً عن الشخص بسرعة v فإن التردد بالنسبة الى هذا الشخص يصير

$$n' = n \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

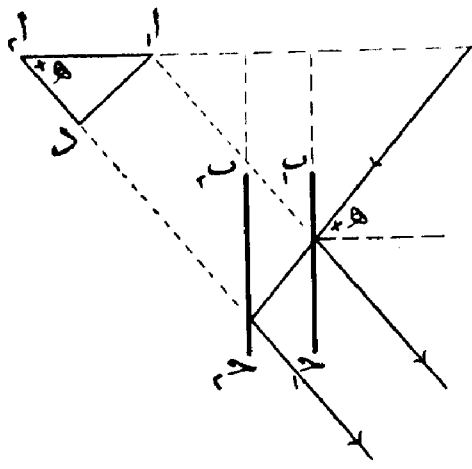
باعتبار أن c رمز لسرعة انتشار الموجات .

وبالرمز للطول الموجي بالحرف λ ، فالطول الموجي بالنسبة الى هذا الشخص يصير

$$\lambda' = \frac{c}{n'} = \frac{c}{n \left(1 - \frac{v}{c} \right)} \text{ بالتقريب}$$

ومن هذا يتضح أنه إذا تحرك المصدر بعيداً عن الشخص بسرعة ١ ، فإن الطول الموجي يتغير من λ الى λ' ، بحيث تكون العلاقة بين λ' و λ طبقاً للمعادلة السابقة

فإذا فرضنا أن شعاعاً ذا طول موجي λ يسقط من أ (شكل ٣٣٨) على مرآة ب ، ح ، وكانت زاوية السقوط θ فالشعاع ينعكس على سطحها كأنه صادر من الصورة أ ، فإذا كان



(شكل ٣٣٨)

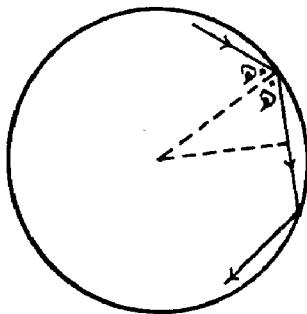
المصدر والمرآة ساكنين فالطول الموجي للشعاع المنعكس لا يختلف عنه للشعاع الساقط . ولكن إذا كانت المرآة متحركة ، وفرضنا أنها تتحرك في استقامة العمود على سطحها بعيداً عن المصدر بسرعة نرمز لها بالحرف s ، فإن الصورة أ ، تتحرك بسرعة قدرها s واذن سرعة انتقال الصور في استقامة الشعاع المنعكس (ومقدارها يمثل في (شكل ٣٣٨) بالمستقيم أ ، د) تكون مساوية

$s + v$ حتى

فيكون الشعاع المنعكس كأنه صادر من مصدر يبعد في استقامة الشعاع المنعكس بسرعة قدرها المقدار المذكور ، فيكون الطول الموجي للشعاع المنعكس هو

$$\lambda' = \lambda \left(1 + \frac{v + s}{c} \right) \dots \dots \dots (1)$$

فإذا راعينا غلافاً كروي الشكل ، سطحه الداخلي عاكس ، وأخذ الغلاف يتمدد بسرعة قدرها



(شكل ٣٣٩)

s ، وفرضنا أن اشعاعاً ذا طول موجي λ يقع على سطحه الداخلي بزاوية سقوط قدرها θ كما هو مبين بشكل (٣٣٩) ورمزنا لنصف قطر الغلاف في أية لحظة بالرمز r فإن

$$\frac{v}{c} = \frac{v}{c}$$

باعتبار أن r رمز لتفاضل الزمن

ويكون الطول الموجي للاشعاع عند الانعكاس هو

$$\left(\frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c} + 1 \right) \lambda = \lambda'$$

$$\therefore \lambda' = \lambda - \frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c}$$

ويساوى التغير الحادث في الطول الموجي عند الانعكاس

ويتضح من الشكل أن الشعاع عند انعكاسه مرة ، يقطع مسافة قدرها $\frac{v}{c}$ حتماً قبل انعكاسه مرة أخرى . وبما أن سرعة انتقاله c إذن معدل عدد انعكاساته في وحدة الزمن يكون

$$\frac{c}{\frac{v}{c}}$$

وإذن يكون معدل تغير الطول الموجي في وحدة الزمن هو

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c} \cdot \frac{v}{c}$$

$$\therefore \frac{d\lambda}{dt} = \frac{v}{c}$$

$$\therefore \lambda' = \lambda + \frac{v}{c} \cdot \lambda$$

$$\therefore \lambda' = \lambda \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

وهذه المعادلة تنص على أن الطول الموجي لاشعاع معين في أية لحظة عند تمدد الغلاف الكرى يتناسب ونصف قطره . فإذا كان تمدد الغلاف ثابت الحرارة ، واعتبرنا أن كل نوع من أنواع الاشعاعات ذوات الأطوال الموجية المختلفة التي يتكون منها الاشعاع التام في باطن الغلاف يتغير طوله الموجي وفقاً لهذه المعادلة ، وبما أن

$$\lambda' = \lambda \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad (\text{البند السابق})$$

ينتج أن

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{v}{c} \cdot \lambda = \frac{v}{c} \cdot \lambda \quad (1)$$

أى أن حاصل ضرب الطول الموجي لكل نوع من انواع الاشعاعات التي يتركب منها الاشعاع التام في باطن الغلاف ، في درجة الحرارة المطلقة ، يكون مقداراً ثابتاً ، عند ما يتغير

حجم الغلاف تغيراً ثابت الحرارة . والتغير الثابت الحرارة مقرون بتغير في درجة الحرارة . اذن ينتج أنه اذا تغيرت درجة الحرارة المطلقة للغلاف من λ الى λ' فالطول الموجي لكل نوع من أنواع الاشعاعات التي يتكون منها الاشعاع التام يتغير من λ الى λ' بحيث يكون

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\nu}{\nu'} \quad (2)$$

فاذا ارتفعت درجة حرارة الغلاف نقص الطول الموجي واذا انخفضت زاد الطول الموجي وتعرف المعادلة (١) أو (٢) بقانون فين (١)

٤٣٣ - العلاقة بين طاقة اشعاع ذى طول موجي معين ودرجة الحرارة

الاشعاع التام في باطن غلاف ذى درجة حرارة معينة يتكون كما ذكر آنفاً من أنواع من الاشعاع يختلف بعضه عن الآخر من حيث الطول الموجي ، ويمكن بوجه عام اعتبار الأطوال الموجية تتراوح بين الصفر وما لا نهاية له فالطاقة في وحدة الحجم أو كثافة طاقة الاشعاع التام هي مجموع طاقات كل الاشعاعات ذات الأطوال الموجية المختلفة في وحدة الحجم ، فاذا راعينا الاشعاعات التي يتراوح طولها الموجي بين الصفر ν ورمزنا لطاقتها في وحدة الحجم بالحرف ν ، ثم راعينا الاشعاعات التي يتراوح طولها الموجي بين الصفر $\nu + \nu$ ، ورمزنا لطاقتها في وحدة الحجم بالمقدار $\nu + \nu$ ، اتضح أن ν يمثل الطاقة في وحدة الحجم للاشعاعات التي تنحصر أطوالها الموجية بين ν و $\nu + \nu$. فاذا رمزنا للمقدار

$$\frac{\nu + \nu}{\nu}$$

بالرمز ν ، بحيث يكون

$$\nu = \nu + \nu$$

فالمقدار ν وهو الذي يمثل معدل الطاقة بالنسبة الى الطول الموجي للاشعاعات المحصورة

أطوالها الموجية بين λ_1 و λ_2 هذا المقدار يسمى بإيجاز «طاقة وحدة مدى الطول الموجي» (١)
 وقانون ستيفان كما تبين من برهان بولتزمان، ينص على أن كثافة طاقة الاشعاع التام تتناسب
 والمقدار λ^{-4} . فإذا اعتبرنا هذا القانون منطبقاً على كل نوع من أنواع الاشعاعات المختلفة ذات
 الأطوال الموجية المختلفة التي تتكون منها الاشعاع التام، وراعينا الاشعاعات التي تنحصر أطوالها
 الموجية بين λ_1 و λ_2 في درجة الحرارة المطلقة λ ، ورمزنا لكثافة طاقتها بالرمز
 u_{λ} . وفرضنا أن الغلاف تغير تغيراً ثابت الحرارة بحيث صارت درجة الحرارة λ
 وصار الطول الموجي منحصرأ بين λ_1 و λ_2 وصارت كثافة الطاقة u_{λ} فانه طبقاً
 لقانون ستيفان يكون

$$\frac{u_{\lambda_1}}{\lambda_1^4} = \frac{u_{\lambda_2}}{\lambda_2^4}$$

وبالرمز لطاقة وحدة مدى الطول الموجي u_{λ} بالرمز u_{λ} ولطاقة وحدة مدى الطول الموجي
 u_{λ} بالرمز u_{λ} بحيث يكون

$$u_{\lambda_1} = u_{\lambda_2}$$

$$u_{\lambda_1} = u_{\lambda_2}$$

ينتج أن

$$(1) \quad \frac{u_{\lambda_1}}{\lambda_1^4} = \frac{u_{\lambda_2}}{\lambda_2^4}$$

$$\text{وبما أن} \quad \frac{u_{\lambda_1}}{\lambda_1^4} = \frac{u_{\lambda_2}}{\lambda_2^4} \quad \text{من البند السابق}$$

$$(2) \quad u_{\lambda_1} = u_{\lambda_2}$$

$$\text{وكذلك} \quad (u_{\lambda_1} + u_{\lambda_2}) = u_{\lambda_1} + u_{\lambda_2}$$

ينتج أن

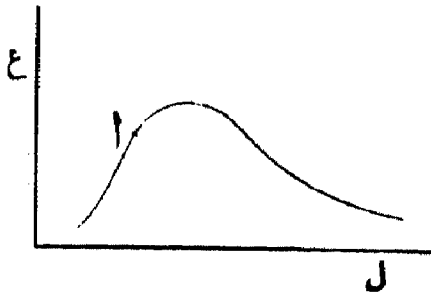
$$\frac{\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda}$$

وبالتعويض في المعادلة (١) ينتج أن

$$\frac{\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda}$$

$$(٣) \quad \frac{\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda}$$

ومعنى هذه المعادلة أنه إذا تغيرت درجة الحرارة من λ الى λ ، وتغير تبعاً لذلك الاشعاع
ذى الطول الموجى λ الى اشعاع ذو طول موجى λ ، كانت نسبة طاقة وحدة مدى الطول
الموجى في وحدة الحجم في الحالتين كنسبة الدرجتين المطلقتين المرفوعتين الى الأس الخامس. فإذا
فرضنا أن المنحنى (شكل ٣٤٠) يمثل كيفية توزيع الطاقة بين الأطوال الموجية المختلفة في الدرجة
المطلقة λ ، ومرسوم بحيث تبين الاحداثيات الرأسية طاقة وحدة مدى الطول الموجى في وحدة
الحجوم، والاحداثيات الأفقية الطول الموجى، فتكون المساحة المحصورة بين المنحنى والمحور
الأفقى دالة على طاقة الاشعاع التام في وحدة الحجوم، وراعينا نقطة ما مثل λ على المنحنى وكان
الطول الموجى عندها λ وطاقة وحدة مدى الطول



(شكل ٣٤٠)

الموجى λ ، فالمعادلة (٢) تنص على أنه إذا تغيرت
درجة الحرارة الى λ ، فهذا الطول الموجى يصير λ
بحيث تكون النسبة بين الطولين عكس النسبة بين
الدرجتين. والمعادلة (٣) تنص على أن قيمة الاحداثى
الرأسى لهذه النقطة تتغير من λ الى λ بحيث تكون

النسبة بين القيمتين، كالنسبة بين الدرجتين المطلقتين المرفوعتين الى الأس الخامس، فإذا ارتفعت

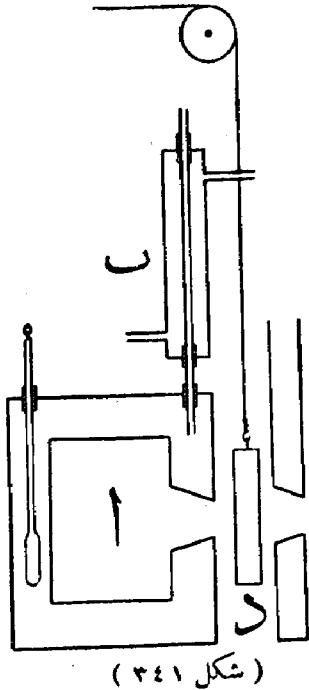
درجة الحرارة ترتب على ذلك أن كل نقطة مثل λ على المنحنى نزاح نحو اليسار (بحيث تنقص قيمة الطول الموجي) ونزاح الى أعلى (بحيث تزداد طاقة وحدة مدى الطول الموجي) بالمقادير التي تتطلبها المعادلتان (٢) و (٣). فاذا راعينا بصفة خاصة قمة المنحنى حيث تكون ϵ عند نهايتها العظمى، فارتفاع درجة الحرارة يزيح هذه القمة نحو اليسار، ويزيحها الى أعلى أيضاً. فاذا رمزنا للطول الموجي الذي تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجي نهايتها العظمى في درجة λ بالرمز λ_0 وفي درجة λ_1 بالرمز λ_1 ، فإن العلاقة بين الطولين الموجيين تكون

$$\lambda_1 = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad (٤)$$

وتنص هذه المعادلة على أن الطول الموجي الذي تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجي نهايتها العظمى يتحول الى القصر كلما ارتفعت الدرجة. ويعرف هذا بقانون فين في الاذاحة (١)

٤٣٤ - تجارب لومر وبرنجشهايم

أجرى « لومر » (٢) و « برنجشهايم » (٣) تجارب لتحقيق قانون ستيفان ما بين درجتي المائة



و ١٣٠.٥ مئوية واستخدما في هذه التجارب غلافاً ذا درجة منتظمة ثابتة كمصدر اشعاع، وجعلوا الغلاف في التجارب التي أجريت في درجة المائة من اناء λ من النحاس كالمبين (بشكل ٣٤١) ذي جدارين يغلي بينهما الماء والاناء مكسو باطنه بالسناج ومتصل به من أعلى مكثف ب لتكثيف ما يتصاعد من الماء المغلي حتى يبقى مقدار الماء ما بين الجدارين ثابتاً. وجعلوا فيما بين الجدارين ترمومترأ وأمام فتحة الاناء حاجز γ به فتحة، يتدلى من خلفها حاجز د يمكن رفعه أو خفضه على حسب الارادة، فيتسنى عند ما يحول امام فتحة الاناء أن تسد الفتحة الصادرة منها الاشعاع

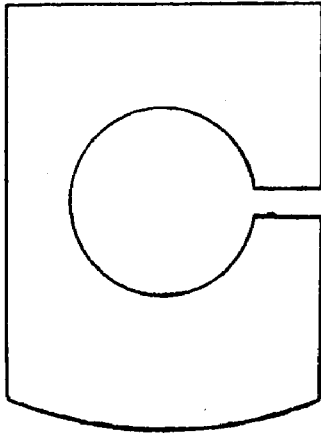
(١) Wien's Displacement Law

(٣) Pringsheim

(٢) Lummer

والحاجزان المذكوران ذوا جدارين بينهما ماء في درجة حرارة الجو

وفي درجات الحرارة الواقعة بين ٢٠٠ و ٦٠٠ مئوية استبدلاً بالاناء المذكور كرة من النحاس كما هو مبين بشكل (٣٤٢) مكسو سطحها الداخلي بالسناج ، ويحيط بها اناء من الحديد به مخلوط من أزوتات الصوديوم والبوتاسيوم : فإذا سخن المخلوط انصهر حوالى درجة ٢١٩ مئوية ، وجعلنا

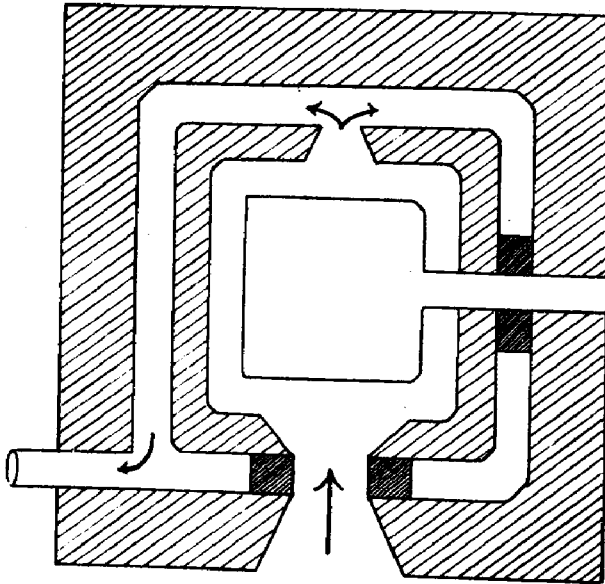


في هذا المخلوط ترمومترأ مناسباً ومخوضاً لتقليب السائل المنصهر أما في درجات الحرارة التي تتجاوز الستائة ، فقد استخدمنا اسطوانة من الحديد يحيط بها تنور كما بشكل (٣٤٣) يحمى بالهواء الساخن

ولقياس طاقة الاشعاع استخدمنا بولومتراً (انظر بند ٤٠٠) وتتخلص الطريقة التي اتبعناها في أن يعرض البولومتر للاشعاع

(شكل ٣٤٢)

الصادر من الغلاف وذلك برفع الحاجز د من امام فتحتة فإذا ما بلغ انحراف الجلفانومتر المتصل بالبولومتر نهايته ، سدت الفتحة واعتبر انحراف الجلفانومتر متناسباً وطاقة الاشعاع الواقع على البولومتر في وحدة الزمن . وقد دللا على ذلك بقياس الانحراف في



(شكل ٣٤٣)

الدرجة الواحدة عند ما يوضع البولومتر على أبعاد مختلفة من الغلاف فدللت التجارب على أن الانحراف يتناسب وعكس مربع البعد

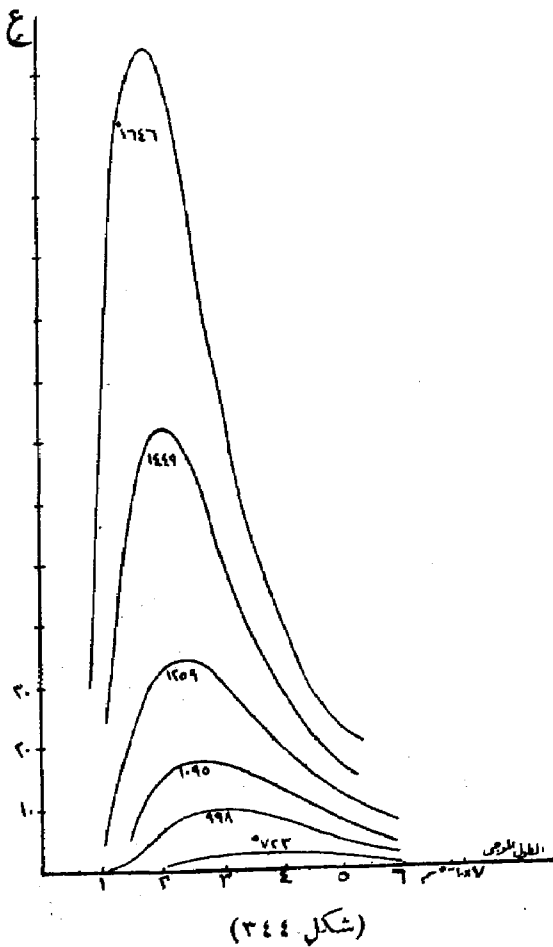
وإذا رمز لدرجة الحرارة المطلقة للغلاف بالرمز θ ، ولدرجة الحرارة المطلقة للجو بالرمز θ_0 ، فطبقاً لقانون ستيفان تكون الطاقة المنبعثة من فتحة الغلاف في وحدة الزمن متناسبة والمقدار

($\theta - \theta_0$) فإذا كان البعد بين البولومتر وفتحة الغلاف ثابتاً كان انحراف الجلفانومتر

متناسباً والمقدار المذكور . وهذا ما عززته التجارب

وفي سنة ١٨٩٩ أجرى « لومر » و « برنجشاهيم » تجارب أخرى لتحقيق قانون فين وليبيان كيفية توزيع الطاقة بين الأشعاعات ذوات الأطوال الموجية المختلفة . وجعلوا في هذه التجارب الأشعاع الصادر من فتحة الغلاف يقع على منشور من الفلورسبار فيتشتت إلى الأشعاعات ذوات الأطوال الموجية المختلفة كما يتشتت الضوء إلى الأضواء الطيفية واستبدلوا بالعدسات التي تستخدم عادة للأشعاع مرآة مقعرة عاكسة ، وجعلوا الأشعاع بعد تشتته بفعل المنشور يقع على بولومتر خطي (انظر بند ٤٠٠) ليتيسر بوساطته قياس طاقة الأشعاع في المنطقة الضيقة من الطيف التي يحل فيها سلك البولومتر

وتتأخر هذه التجارب مبينة بشكل (٣٤٤) حيث يدل الاحداثي الأفقي على الطول الموجي ويدل الاحداثي الرأسي على طاقة وحدة مدى الطول الموجي وهو المقدار المرموز له بالحرف



ع بحيث تكون طاقة الأشعاع المنحصر بين الطولين الموجيين $\lambda + d$ و λ مساوية ع و λ وهذا المقدار الأخير هو المقيس بالبولومتر ، وهو طاقة المنطقة الضيقة من الطيف التي يحل فيها سلك البولومتر وتكون مساحة الشكل المنحصر بين المنحنى وبين المحور الأفقي مساوية طاقة الأشعاع الكلي وقد دلت نتائج التجارب على أن هذه المساحة تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة إلى الأس الرابع وعلى أن الطول الموجي الذي تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجي نهايتها العظمى (أي الذي تكون عنده قمة المنحنى) يتناسب وعكس درجة الحرارة المطلقة ، كما

ان قيمة هذه النهاية العظمى تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى الأس الخامس . أنظر بند (٤٣٣)

٤٣٥ - معادلات توزيع الطاقة في الطيف

اذا رمز بالرمز ϵ لطاقة وحدة مدى الطول الموجي في درجة الحرارة المطلقة λ فان

$$\frac{\epsilon}{\lambda} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

$$\text{وكذلك } \lambda = \text{مقداراً ثابتاً}$$

اذن يمكن ادماج هاتين المعادلتين في المقدار الآتي

$$\frac{\epsilon}{\lambda} \text{ يتناسب } \epsilon \text{ و } (\lambda) \dots \dots (١)$$

حيث تكون ϵ دالة غير معروفة للمقدار λ

$$\text{ولكن } \lambda \text{ تتناسب } \frac{1}{\lambda}$$

اذن يمكن وضع معادلة (١) في الصورة الآتية

$$\epsilon = \frac{1}{\lambda} \text{ و } (\lambda) \dots \dots (٢)$$

حيث يكون ϵ مقداراً ثابتاً . وهذه المعادلة تكون الدالة على كيفية توزيع الطاقة بين الأطوال الموجية المختلفة في الاشعاع التام في درجة الحرارة المطلقة λ . أي تكون المعادلة الدالة على توزيع الطاقة في طيف الاشعاع الصادر من جسم أسود تام السواد في درجة الحرارة المطلقة λ . وتعرف بمعادلة فين العامة . وقد أجريت بحوث نظرية كانت الغاية منها تحديد قيمة الدالة المذكورة وأدت هذه البحوث الى معادلات أهمها ثلاث (١)

(١) ليان كيفية الحصول على هذه المعادلات يراجع كتاب The Electron Theory تأليف Richardson

أو Dictionary of Applied Physics في موضوع Quantum Theory

الاولى تعرف بمعادلة فين وتنص على أن

$$(٣) \dots\dots\dots e^{\frac{1}{\lambda}} = \frac{c}{\lambda^5}$$

حيث يكون c مقدارين ثابتين e الاساسى الطبيعى للوغاريتمات والثانية معادلة « رايلى »^(١) وتنص على أن

$$(٤) \dots\dots\dots e^{\frac{1}{\lambda}} = \frac{c}{\lambda^4}$$

والثالثة معادلة بلانك^(٢) وتنص على أن

$$(٥) \dots\dots\dots \frac{1}{(1 - e^{-\frac{c}{\lambda kT}})} = \frac{c}{\lambda^5}$$

واختلاف هذه المعادلات بعضها عن الآخر مترتب على الفروض التى بنيت عليها وقد وجد أن معادلة « فين » تكاد تنطبق على نتائج التجارب العملية الا فى حالة ما تكون الأطوال الموجية كبيرة حيث يكون الاختلاف بين نتائج التجارب العملية وما تقتضيه المعادلة كبيراً لا يصح التغافل عنه . ووجد أن معادلة « رايلى » متفقة والنتائج العملية فيما يختص بالأطوال الموجية الطويلة ، ولكن التباين بينها وبين النتائج العملية فيما دون ذلك كبير لا يصح التغافل عنه . أما معادلة بلانك فالانفاق بينها وبين نتائج التجارب العملية تام . وهذه المعادلة تفضى الى صورة معادلة فين عند ما يكون المقدار λ صغيراً اذا قوبل بالمقدار الثابت c

وأجرى « روبنز »^(٣) و « كورلباوم »^(٤) تجارب لاختبار ما اذا كانت معادلة بلانك تمتاز عن معادلة فين فيما يختص بالأطوال الموجية الطويلة التى يمكن الحصول عليها بتعدد الانعكاسات

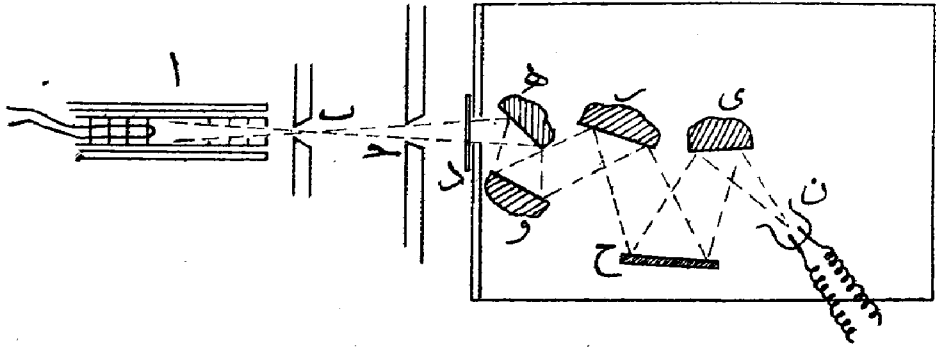
Lord Rayleigh (١)

Planck (٢)

Kurlbaum (٤)

Rubens (٣)

عن سطوح الفلوسبار أو السلفين أو الملح الصخرى والتي تكون ما سبق أن سميناه فضالة الاشعاع (انظر بند ٤٠٢) ، والفكرة الاساسية في هذه التجارب مبينة في شكل (٣٤٥) ، فالاشعاع التام يصدر من الغلاف ا الثابت الدرجة وبعد نفوذه من الفتحتين ب و ج وازالة الحاجز د



(شكل ٣٤٥)

ينعكس عند السطوح المدلول عليها بالحروف ه و و و و و كانت في بعض التجارب سطوح الفلوسبار وفي الاخرى الملح الصخرى أو السلفين ، أما السطح ح فسطح مرآة مقعرة ، يتجمع بوساطتها الاشعاع بعد الانعكاس ، على سطح الترمويل ن فالطول الموجي للاشعاع المتجمع على الترمويل معروف أو يمكن قياسه بالطريقة التي وردت في بند (٤٠٢) وطاقة هذا الاشعاع عند صدوره من الغلاف في درجات مختلفة من الحرارة تقاس بوساطة الترمويل ، وكانت تتألف هذه التجارب متفقة اتفاقاً يكاد يكون تاماً ، ومعادلة بلانك

٤٣٦ - نظرية الكم

لما كانت التجارب العملية تعزز معادلة بلانك دون المعادلات الأخرى ، فان ذلك دليل على أن الفروض التي قامت عليها معادلة بلانك تعززها هذه التجارب . وأهم هذه الفروض فرض متمتاز به معادلة بلانك ولم يسبق وروده في العلم الطبيعي وهو أن مصادر الاهتزاز أى المصادر التي يحدث عن اهتزازها الاشعاع الصادر من الجسم المشع وهى التي تمتص أيضاً الاشعاع في حالة الامتصاص ، هذه المصادر تنبعث منها الطاقة بمقادير لا تقبل التجزئة ، وليست تنبعث انبعثاً مستمراً متصلاً ، وذهب بلانك الى أن لكل اشعاع ذى طول موجى معين أو ذى تردد معين

مصادر يحدث عن اهتزازها هذا الاشعاع وإذا رمز للتردد بالحرف ν ولأصغر مقدار من الطاقة يمكن أن ينبعث من هذا الاشعاع بالحرف q ، فإن

$$q = h \nu$$

حيث يكون h مقداراً ثابتاً يعرف بثابت بلانك (١)

وهذه المقادير من الطاقة هي بمثابة وحدات أو جواهر فردة من الطاقة يسمى الواحد منها كما (٢) ولذلك تعرف نظرية بلانك بنظرية الكم (٣) . وقد اتسعت هذه النظرية وطبقت في مسائل أخرى في علم الطبيعة كمسائل الحرارة النوعية ، والتأثير الكهربائي للضوء ، وتركيب الذرة ومناشأ الخطوط الطيفية ، حتى صارت أهم محور تدور حوله البحوث الحديثة في العلوم الطبيعية

٤٣٧ - قيمت المقادير الثابتة في قوانين الاشعاع

إذا رمز بالحرف ϵ لكمية الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن من وحدة المساحات من سطح الجسم الأسود التام السواد وهو في درجة الحرارة المطلقة λ فطبقاً لقانون ستيفان يكون

$$\epsilon = \sigma \lambda^4$$

حيث يكون σ مقداراً ثابتاً يعرف بثابت الاشعاع الكلى أو معامل الاشعاع الكلى ودلت التجارب على أن قيمته العددية هي

$$5.67 \times 10^{-8}$$

وبالرمز للطول الموجي الذي تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجي نهايتها العظمى بالرمز λ ولدرجة الحرارة المطلقة بالحرف λ ، فطبقاً لقانون فين في الازاحة يكون

$$\lambda = \text{مقداراً ثابتاً}$$

وإذا قيس الطول الموجي بالميكرون (وهو 10^{-6} من المتر) فالقيمة العددية للمقدار الثابت هي

$$2880$$

ومعادلة بلانك تنص على أن

$$\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}}}$$

والمقدار الثابت k هو

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ ج.م.}^{\circ}\text{ك}$$

حيث يكون T رمزاً للنسبة التقريبية $\frac{h\nu}{kT}$ لثابت بلانك h لسرعة الضوء أما المقدار

$$\frac{h\nu}{kT}$$

الثابت k فهو

حيث k هو الثابت الذرى للغاز بحيث يكون متوسط طاقة حركة الجزيء في الغاز الأحادي

الآلف في درجة الحرارة المطلقة مساوياً $\frac{3}{2} kT$ لـ $\frac{3}{2}$

والقيمة العددية لثابت بلانك h هي

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ ج.م.}^{\circ}\text{ك.ث}$$

والقيمة العددية للمقدار kT هي

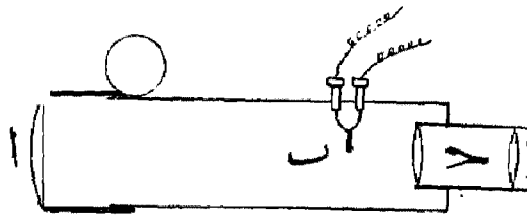
$$kT = 1.38 \times 10^{-23} \text{ ج.م.}^{\circ}\text{ك}$$

ويلاحظ أن ثابت بلانك مقدار طبيعي أبعاده هي أبعاد الشغل مضروبة في الزمن

٤٣٨ - تطبيق قوانين الاشعاع لقياس درجة الحرارة

تطبق قوانين الاشعاع المذكورة ، لقياس درجات الحرارة في الحالات التي لا يمكن نظراً لارتفاع الدرجة تطبيق الترمومترات المعتادة أو تطبيق الظاهرة الكهربية الحرارية ، كقياس درجات حرارة الأفران ، ونقط انصهار المعادن التي تنصهر في درجات مرتفعة من الحرارة ، وتسمى الطرق المبينة على قوانين الاشعاع بالطرق الاشعاعية لقياس درجة الحرارة . والطريقة الشائعة تتوقف على قانون ستيفان . فالاشعاع الصادر من فتحة في الثور مثلاً يلم بواسطة مرآة مقعرة على بولومتر أو ترموبيل مناسب ، أو مقياس اشعاعى ويعاير انحراف الجلفانومتر بتعرض الجهاز وهو على بعد معلوم للاشعاع الصادر من فتحة ذات اتساع معلوم في غلاف ذي درجة حرارة معلومة

ومبين بشكل (٣٤٦) الفكرة الأساسية لجهاز يستعمل لهذه الغاية ، وهو يتركب من عدسة لامة من الفلوريت ، تستعمل لجمع الاشعاع الصادر من فتحة التنور مثلاً ، على ملتقى معدنين مختلفين عند ، وقطعة عينية - يتسنى بالنظر خلالها الحصول على صورة للفتحة التي يصدر



(شكل ٣٤٦)

منها الاشعاع على ملتقى المعدنين . ويعتبر انحراف الجلفانومتر المتصل بالملتقى متناسباً وارتفاع درجة حرارته ، وهذا متناسباً وشدة الاشعاع المنبعث من الفتحة ، وقد تستبدل بالعدسة الفلوريتية ا

مرآة مقعرة توضع في وضع مناسب ويلم بوساطتها الاشعاع على الملتقى ب

ويمكن تطبيق احدي المعادلين (٣) ٦ (٤) (بند ٤٣٥) لقياس درجة الحرارة وكذلك طبقت معادلة بلانك فقيست شدة ضوء ذى طول موجى معين صادر من مصدر في درجة حرارة معلومة ثم شدة الضوء نفسه عند صدوره من المصدر في الدرجة المجهولة فتكون العلاقة بين الشدتين كما تتطلبه معادلة بلانك

ويلاحظ أن قوانين الاشعاع المذكورة لا تنطبق الا في حالة الجسم الأسود التام السواد

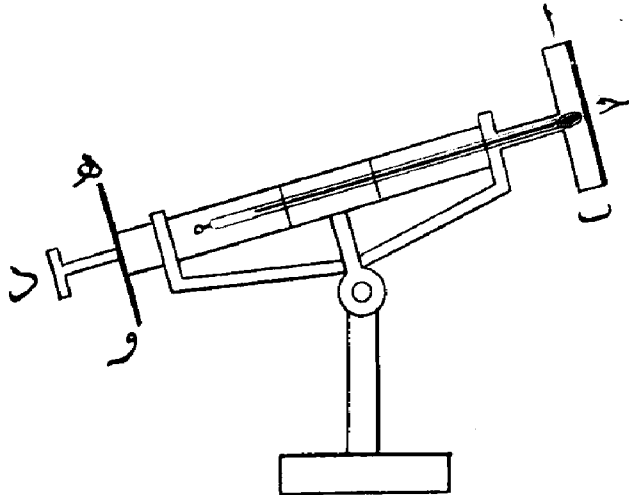
٤٣٩ - الثابت الشمسى وتعيين قيمته

وتطبق قوانين الاشعاع لتعيين درجة حرارة الشمس باعتبارها جسماً أسود تام السواد . ويتطلب تطبيق قانون ستيفان معرفة معدل الطاقة التي تنبعث من الشمس في وحدة الزمن ، وتسمى الطاقة الواقعة من الشمس عمودياً على وحدة المساحات من سطح الأرض في الدقيقة (بعد تصحيح ما يمتص منه في أثناء نفوذها في الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض) « الثابت الشمسى » (١)

ولتعيين قيمة الثابت الشمسى تعين أولاً معدل ما تكتسبه وحدة المساحات من سطح الارض من طاقة الشمس . ثم يصحح هذا المقدار من الخطأ الذى ينشأ عن نفوذ هذه الطاقة خلال

الطبقة الهوائية ، وما يحدث عن ذلك من النقص فيها

ولتعيين معدل ما تكتسبه وحدة المساحات من سطح الارض من طاقة الشمس ، تستخدم أجهزة خاصة تسمى « مقاييس الطاقة الشمسية »^(١) ، وهي تتركب من مسعرات صغيرة الحجم يكسئ سطحها الذى يعرض للشمس بطبقة من السناج ، ومبين بشكل (٣٤٧) نوع من هذه الاجهزة يعرف بمقياس « بوييه »^(٢) وهو يتركب من مسعر اسطوانى الشكل ا ب مكسو سطحه

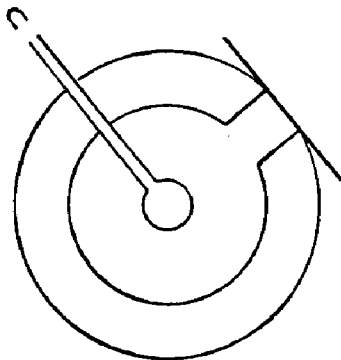


(شكل ٣٤٧)

حـ بطبقة من السناج وجوانبه الاخرى مصقولة والمسعر مثبت بحيث يكون قابلاً للدوران حول المحور حـ د بواسطة مقبض عند د فيتمكن من ادارته بهذه الكيفية تقليب مائه بسهولة وبالمسعر ترمومتر تنطبق قناته على محور الدوران ، وبالجهاز قرص هـ و مماثل تماماً للسطح حـ للمسعر

وموازله بحيث اذا وجه هذا السطح نحو الشمس ، وجعل ظل المسعر منطبقاً على القرص هـ و ، كانت أشعة الشمس واقعة عمودية على السطح حـ . فاذا هيء الجهاز بهذه الكيفية ، وعرض السطح حـ المكسو بالسناج لاشعة الشمس مدة معينة من الزمن ، وقيس ارتفاع درجة الحرارة ، وصحح الخطأ الناس عن فقدان الحرارة بطريق الاشعاع وغيره ، وعرفت السعة الحرارية للمسعر ومحتوياته أمكن تقدير معدل الطاقة الحرارية الواقعة على

وحدة المساحات من سطح المسعر



(شكل ٣٤٨)

ومبين بشكل (٣٤٨) نوع آخر من الاجهزة يعرف بمقياس « فيوليه »^(٣) وهو يتركب من غلاف كرى ذى جدارين يملأ ما بينهما ماء فى درجة حرارة معينة ، أو بجليد مجروش فى درجة الصفر . وبالغلاف فتحة يمكن تعريضها

للشمس وبياطنه ترمومتر مستودعه كرى فى مركز الغلاف ومكسو بطبقة من السناج . فعند استعمال الجهاز يكون الترمومتر فى درجة حرارة الغلاف ، فاذا فتحت الفتحة ووقعت أشعة الشمس على مستودع الترمومتر ، تأخذ درجة حرارة الترمومتر فى الارتفاع حتى تستقر بعد مدة من الزمن (١٥ دقيقة مثلاً) عند نهايتها العظمى وهنا تتعادل الحرارة التى يكتسبها الترمومتر فى وحدة الزمن من الشمس والحرارة التى يشعها فى وحدة الزمن الى المحيط . فاذا قيست هذه الدرجة ، وقدر معدل برودة الترمومتر وهو فى الدرجة نفسها، وعرفت السعة الحرارية للترمومتر أمكن تقدير معدل الحرارة الواردة اليه من الشمس

٤٤٠ - تصحيح الخطأ الناجم عن الامتصاص بفعل الهواء

ولتصحيح الخطأ الناشئ عن الامتصاص الحادث بفعل الطبقة الهوائية المحيطة بالكرة الأرضية ، نرمز لمعامل انفاذ الهواء (أنظر بند ١١٢) بالحرف s وللطاقة الاصلية الواقعة على وحدة المساحات بالحرف S وللطاقة الواقعة على وحدة المساحات بعد نفوذها خلال سمك من الهواء قدره s ، بالرمز s_1 فيكون

$$s_1 = s - s^2 \dots \dots (١)$$

فاذا اخترق الاشعاع سمكاً من الهواء قدره s ورمزنا للطاقة الواقعة بعد ذلك على وحدة المساحات بالرمز s_2 يكون

$$s_2 = s - s^3 \dots \dots (٢)$$

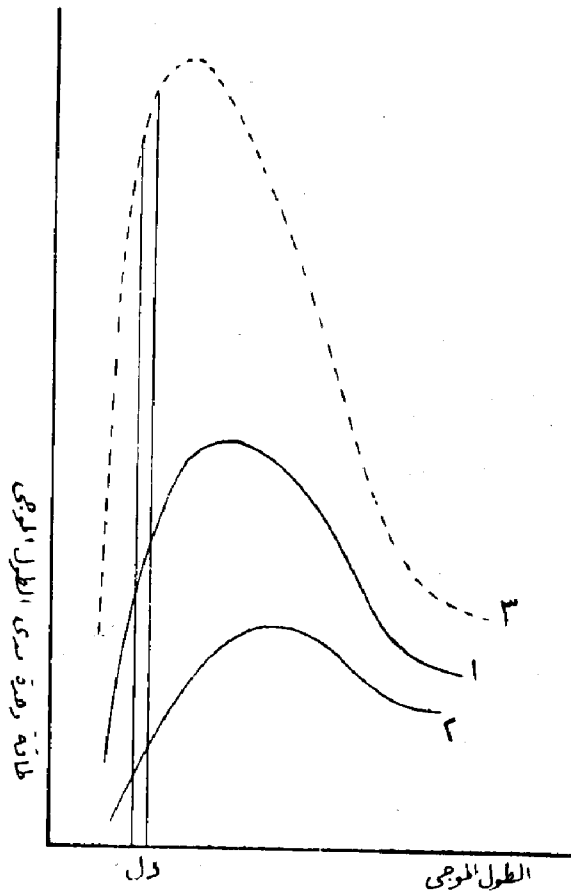
وبتريع المعادلة (١) ثم قسمة المربع على المعادلة (٢) ينتج أن

$$s_2 = \frac{s^2}{s} \dots \dots (٣)$$

واذن اذا أمكن قياس الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن على وحدة المساحات عند ما يمتدحرق الاشعاع المنبعث من الشمس سمكاً معيناً من الطبقة الهوائية وعند ما يمتدحرق ضعف هذا السمك أمكن من المعادلة (٣) تقدير القيمة الصحيحة s

ولكى يتيسر ذلك يمكن قياس معدل الطاقة الواردة من الشمس عند ما تكون الشمس عند السمت ثم عند ما يكون ميلها عن السمت بمقدار ٦٠ درجة ففي هذه الحالة يمكن اعتبار سمك الهواء الذى تنفذ خلاله الاشعة ضعف السمك فى الحالة الاولى

والطريقة المذكورة وان كانت قد اتبعت فى البحوث الاولى ، فانها لا تصح الا اذا كانت الطبقة الهوائية تمتص أو تنفذ جميع أنواع الاشعاع الصادرة من الشمس بقدر واحد ، وهذا لا يتفق والواقع لان الطبقة الهوائية تمتص الاشعة ذات الطول الموجى القصير جداً (الاشعة فوق البنفسجية القصيرة) كما أن جزءاً كبيراً من الاشعة ذات الطول الموجى القصير يستطيع جانباً (وهو الذى يحدث عنه زرقة السماء) ولا يصل فى امتداد شعاع الشمس . وكذلك فامتصاص الهواء يتوقف على حالته من حيث درجة الرطوبة وما يعلق فيه من الهباء وما الى ذلك وقد أجرى « لانجلي » بحثاً راعى فيها اختلاف امتصاص الهواء تبعاً لاختلاف نوع الاشعة



(شكل ٣٤٩)

أوطولها الموجى . واتخذ فى هذه البحوث محزوز الحيود لتحليل الاشعاع ، وبولومتراً لقياس طاقة الاجزاء المختلفة من الطيف عند نفوذها خلال طبقات مختلفة السمك من الهواء ، حتى يتيسر تصحيح الخطأ الحادث عن الامتصاص فى كل جزء من أجزاء الطيف على حدته . وفى شكل (٣٤٩) بيان لنتائج بحثه ، فالمنحنى (١) يمثل توزيع الطاقة فى طيف الشمس وهى عند السمت والمنحنى (٢) عند ما تميل عن السمت بمقدار ٦٠ درجة . فاذا أخذنا طولين موجيين λ و $\lambda + \delta$ والفرق بينهما صغير ، فمساحة الشريط

الضيق المنتهى عند المنحنى الأول يمثل طاقة الاشعاع المحصور طوله الموجى بين λ و $\lambda + \delta$

والذى ينفذ خلال السمك الاول ، ومساحة الشريط المنتهى عند المنحنى الثانى ، يمثل قيمة ما ينفذ من هذه الطاقة خلال السمك الثانى ، فاذا رمزنا للطاقة الاولى بالحرف s_1 وللثانية بالرمز s_2 ، فالقيمة الصحيحة للطاقة اذا لم يكن هناك امتصاص تستخرج من المعادلة (٣) فبالرمز لها بالحرف s ، يكون

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{s}{s_1}$$

فاذا رسم المنحنى (٣) بحيث تكون نسبة الاحداثى الرأسى لاية نقطة عليه ، الى الاحداثى الرأسى للنقطة التى تقابلها من المنحنى (١) كالنسبة بين الاحداثى الرأسى لهذه النقطة والاحداثى الرأسى للنقطة التى تقابلها من المنحنى (٢) بحيث يتوافر شرط المعادلة المذكورة ، فان المنحنى (٣) يمثل توزيع الطاقة فى حالة ما اذا لم يكن هناك هواء ينفذ خلاله الاشعاع . وفى هذه الحالة تكون المساحة السكلية المحصورة بين المنحنى (١) وبين المحور الافقى تمثل الطاقة السكلية التى تنفذ خلال السمك الاول ، والمساحة المحصورة بين المنحنى (٣) وبين المحور الافقى تمثل قيمة هذه الطاقة لو لم يكن هناك امتصاص ما بفعل الهواء ودلت التجارب على أن نسبة المساحة الثانية الى الاولى مساوية ١,٥٨ ، واذن معدل الطاقة التى كانت تصل الى وحدة المساحات من سطح الارض لو لم يكن هناك امتصاص تساوى ١,٥٧ مرة معدل الطاقة التى تصل الى وحدة المساحات من سطح الارض والشمس عند السم

وقد أجرى لانجلى تجارب استخدم فيها جهاز « فيوليه » المتقدم فى البند السابق فكان مقدار الطاقة الواقعة فى الدقيقة على السنتمتر المربع من سطح الارض والشمس عند السم مساوية ١,٨٩ من السعر واذن يكون مقدار الطاقة الواقعة فى الدقيقة على السنتمتر المربع الواحد من سطح الارض اذا صحح الخطأ الحادث عن الامتصاص مساوياً

$$1,57 \times 1,81 = 2,84 \text{ من السعر}$$

وتساوى هذا قيمة الثابت الشمسى

٤٤١ — تعيين درجة حرارة الشمس

فاذا أخذنا بالنتيجة المذكورة في البند السابق ورمزنا للبعد بين الشمس وبين الارض بالحرف م ، يكون مقدار الحرارة الذي يتشعع من الشمس في الدقيقة مساوياً

$$٢,٨٤ \times ٤ ط م^٢$$

وبالرمز لنصف قطر الشمس بالرمز س يكون مقدار ما يتشعع في الدقيقة من وحدة المساحات من سطح الشمس متساوياً

$$\frac{٢,٨٤}{٢ س} = \frac{٢,٨٤ \times ٤ ط م^٢}{٤ ط س^٢}$$

والمقدار $\frac{٢ م^٢}{٢ س} = ٤٦٠٠٠$ بالتقريب والمكافئ الميكانيكي للحرارة $٤,١٨ \times ٧١٠$ أرجا

للسعر ، اذن تكون الطاقة المتشععة من وحدة للمساحات من الشمس في الثانية الواحدة هي

$$\frac{٧١٠ \times ٤,١٨ \times ٤٦٠٠٠ \times ٢,٨٤}{٦٠}$$

وطبقاً لقانون ستيفان يكون هذا المقدار مساوياً

$$٥,٧ \times ١٠^{-٨}$$

ودرجة حرارة الشمس المقدرة بهذه الكيفية توجد حوالى ٦٠٠٠ درجة مئوية ، ويلاحظ في هذا أن الشمس اعتبرت كأنها جسم أسود تام السواد فكأن القول بأن درجة حرارة الشمس تساوى ٦٠٠٠ درجة مئوية معناه أن الاشعاع المنبعث من الشمس اذا اعتبر اشعاعاً تالياً في درجة من الحرارة معينة ، فان هذه الدرجة تكون ٦٠٠٠ مئوية وتسمى درجة الحرارة المقدرة بهذه الكيفية « درجة الحرارة التقديرية للشمس »^(١)

جداول تحمل بعض الثوابت الطبيعية
الخاصة بالضوء

جدول (١)

معامل انكسار ضوء لـب الصوديوم (بالنسبة الى الهواء) في بعض المواد المألوفة

المادة	معامل الانكسار	المادة	معامل الانكسار	المادة	معامل الانكسار
الاجسام الصلبة		السوائل			
الجليد	١,٣١	الاثير الايثيلي	١,٣٥٤	زيت الزيتون	١,٤٦
الزجاج ^(١)	١,٥ - ١,٩	الانيلين	١,٥٩٠	زيت القرفة ^(٣)	١,٦٠١
السكر	١,٥٤ - ١,٥٧	بلسم كندا	١,٥٣	زيت القرنفل ^(٤)	١,٥٣٢
الشبه	١,٤٥٦	البنزين	١,٥٠٤	الكحول الايثيلي	١,٣٦٢
الماس	٢,٤١٧	التربنتينا	١,٤٧	الكحول الاميلي	١,٤١
الميكال	١,٥٦ - ١,٦٠	الجلسرين	١,٤٧	الكحول الميثيلي	١,٣٣
الياقوت	١,٧٦	زيت الارز ^(٢)	١,٥١٦	الكربون المكثرت	١,٦٣٢
		زيت البرافين	١,٤٤٠	الكلوروفورم	١,٤٤٩
				الماء ^(٥)	١,٣٣٣

Cinnamon oil (٣)

Cedar oil (٢)

(١) أنظر جدول ٣

(٥) أنظر جدول ٦

Cloves oil (٤)

جدول (٢)

معامل انكسار ضوء لـب الصوديوم في بعض الغازات والابخرة

المادة	معامل الانكسار	المادة	معامل الانكسار
الازوت	١,٠٠٠٢٩٧	الهليوم	١,٠٠٠٠٣٥٠
الاكسيجين	١,٠٠٠٢٧٢	الهواء	١,٠٠٠٢٩١٨
الايدروجين	١,٠٠٠١٣٨٤	بخار الماء	١,٠٠٠٢٥

جدول (٣)

معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم في الانواع المختلفة من الزجاج

معامل الانكسار	كثافته	نوع الزجاج
١,٤٧٨٢	٢,٢٣	التاجى السلكى (Silicate Crown)
١,٥٢١٥	٢,٥٠	» » » »
١,٤٩٤٤	٢,٣٣	التاجى البوروسلكى (Borosilicate Crown)
١,٥١٤١	٢,٤٧	» » » »
١,٥٧٢٦	٣,٢١	التاجى البريومى (Barium Crown)
١,٦١٣٠	٣,٦٠	التاجى البريومى الكثيف (Heavy Barium Crown)
١,٥٧٩٤	٣,٢٥	الصخرى السلكى (Silicate Flint)
١,٦٤٨٩	٣,٨٧	» » » »
١,٥٥٠٣	٢,٨١	الصخرى البوروسلكى (Borosilicat Flint)
١,٦٢٣٥	٣,٦٧	الصخرى البريومى (Barium Flint)
١,٧١٧٤	٤,٤٩	الصخرى الكثيف (Heavy Flint)
١,٩٠٤٤	٥,٩٢	» » » »

جدول (٤)

الآطوال الموجية للخطوط الطيفية الهامة لبعض المواد المألوفة

العنصر	كيفية الحصول على الطيف	لون الخط	الطول الموجي مقياسا بالسنتيمتر
الارجون (غاز)	تفريغ كهربائي في أنبوبة مخمل ضغطها	برتقالي	١٠ × ٦٠٣١ ^١
		أزرق	» » ٤٧٠٣
		»	» » ٤٢٥٩
		بنفسجي	» » ٤٢٠١
		»	» » ٤١٩٨
		»	» » ٤١٩٢
		»	» » ٤١٥٩
الايدروجين (غاز)	تفريغ كهربائي في أنبوبة مخمل ضغطها	أحمر	» » ٦٥٦٣
		أخضر - أزرق	» » ٤٨٦١
		أزرق	» » ٤٣٤٠
		بنفسجي	» » ٤١٠٢
البوتاسيوم	ادخال كلورور البوتاسيوم في لهب مصباح بنزن	أحمر	» » ٧٧٠٢
		»	» » ٧٦٦٨
		بنفسجي	» » ٤٠٤٧
		»	» » ٤٠٤٤
الثاليوم	ادخال كلوروم الثاليوم في لهب مصباح بنزن	أخضر	» » ٥٣٥٠,٧
الخارصين	شرارة كهربائية في الهواء	أحمر	» » ٦٣٦٣,٧
		أزرق	» » ٤٩١٢
		»	» » ٤٨١٠,٥
		»	» » ٤٧٢٢,١

العنصر	كيفية الحصول على الطيف	لون الخط	الطول الموجي مقياساً بالسنتيمتر
الزئبق	القوس الزئبقي	أصفر » أخضر بنفسجي » »	$10 \times 5790,7^{\wedge}$ » » 5769,6 » » 5460,7 » » 4358,3 » » 4078,1 » » 4046,8
الكاديوم	القوس الكهربائي	احمر أخضر أزرق	» » 6438,5 » » 5008,8 » » 4799,9
المغنيزيوم	القوس الكهربائي	اصفر أخضر » »	» » 5029 » » 5184 » » 5173 » » 5168
الصوديوم	ادخال كلورور الصوديوم في لهب مصباح بنزن	اصفر »	» 5889,965 » 5890,932
النحاس	القوس الكهربائي في الفراغ	اصفر » » أخضر » »	» » 5782,2 » » 5782,0 » » 5700 » » 5218,2 » » 5153,3 » » 5105,5
الهليوم	تفريغ كهربائي في انبوبة مخلخل ضغطها	اصفر أزرق بنفسجي	» » 5875,6 » » 4471,5 » » 3889

جدول (٥)

الاطوال الموجية لخطوط فرنهوفر الرئيسية في الطيف الشمسي

الطول الموجي مقيسا بالسنتيمتر	المادة المحدثة الامتصاص	الرمز الدال على الخط
$10^{-8} \times 7661$	الاكسجين في الهواء المحيط بالارض	A ا
» » 6867,3	الاكسجين في الهواء المحيط بالارض	B ب
» » 6562,8	الايدروجين في الشمس	C ح
» » 5890,93	الصوديوم في الشمس	D ₁ د ₁
» » 5889,97	الصوديوم في الشمس	D ₂ د ₂
» » 5269,56	الحديد في الشمس	E هـ
» » 4861,37	الايدروجين في الشمس	F و
» » 4307,9	الحديد في الشمس	G م
» » 3968,4	الكليسيوم في الشمس	H ح
» » 3933,6	الكليسيوم في الشمس	K ك
» » 3820,4	الحديد والكربون في الشمس	L ل
» » 3719,9	الحديد في الشمس	M م
» » 3581,2	الحديد في الشمس	N ن
» » 3441,0	الحديد في الشمس	O س
» » 3440,6	الحديد في الشمس	

معامل انكسار بعض الاطوال الموجية الهامة في المواد المألوفة

[illegible]

جدول (٧)

الدوران النوعى لبعض المواد المألوفة فى درجة ٢٠ مئوية

النيكوتين (سائل نقى)	حامض الترتاريك فى الماء (تركيز ٠.٤١٪)	الترينيتينا (سائل نقى)	سكر القصب فى الماء	الطول الموجى مقيساً بالسنتيمتر
°١٢٦ —	°٧,٧٥	°٢٩,٥ —	°٥٢,٩	٠,٠٠٠٠٦٥٦٣ الخط الاحمر فى طيف الايدروجين
°١٦٢ —	°٨,٨٦	°٣٧ —	°٦٦,٥	٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ خط الصوديوم
°٢٠٧,٥ —	°٩,٦٥	°٤٥ —	°٨١,٨	٠,٠٠٠٠٥٣٥١ الخط الاخضر فى طيف الثاليوم
°٢٥٣,٥ —	°٩,٣٧	°٥٤,٥ —	°١٠٠,٣	٠,٠٠٠٠٤٨٦١ الخط الاخضر فى طيف الايدروجين

جدول (٨)

دوران مستوى الاستقطاب بفعل الكوارتز فى درجة ٢٠ مئوية

زاوية الدوران لكل ملليمتر	الطول الموجى مقيساً بالسنتيمتر
°١٧,٣	٠,٠٠٠٠٦٥٦٣ الخط الاحمر فى طيف الايدروجين
°٢١,٧٢	٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ خط الصوديوم
°٢٦,٥٣	٠,٠٠٠٠٥٣٥١ الخط الاخضر فى طيف الثاليوم
°٣٢,٧	٠,٠٠٠٠٤٨٦١ الخط الاخضر فى طيف الايدروجين

جدول (٩)

الدوران المغناطيسى لبعض المواد المألوفة

المادة	درجة الحرارة المئوية	ثابت فرديه مقيساً بالدقيقة بالنسبة الى ضوء لهب الصوديوم
الماء	درجة الصفر	+ ٠.٠١٣١١
الماء	٢٠	+ ٠.٠١٣١٢
الكوارتز فى اتجاه عمودى على المحور	٢٠	+ ٠.٠١٦٦٤
الزجاج (زجاج ينا الصخرى الكشيف)	١٨	+ ٠.٠٨٨٨

تحریرات

الباب الأول

١ — اذا كانت نسبة قطر الشمس الى قطر القمر تساوى ٤٠٠ ووقعت الشمس والقمر والارض على استقامة واحدة ، وكان بعد الشمس عن الارض ٩٣ × ٦١٠ ميلا وبعد القمر عن موضع الرصد على الارض ٢٣٨٠٠٠ ميلا ، فين ما اذا كان كسوف الشمس الحادث حلقياً أو كلياً (حلقى)

٢ — وضعت شمعة موقدة ارتفاع لها ثلاث سنتمترات على بعد عشرين سنتمترأ من سم دبوس فى حاجز معتم ، أوجد ارتفاع الصورة الحادثة للهب على حاجز أبيض موضوع فى الجانب الآخر من الثقب وعلى بعد ٥٠٠ سنتمتر عنه (٧,٥ من السنتمتر)

٣ — قطعة من الخشب عرضها سنتمتر وضعت رأسية بين لهب مصباح وبين حاجز أبيض رأسى ، وكان بعدها عن اللهب ٦٠ سنتمترأ وبعدها عن الحاجز ٤٠ سنتمترأ . فاذا كان عرض اللهب سنتمترين فأوجد عرض منطقة الظل الواقع على الحاجز ، ومدى امتداد منطقة شبه الظل عليه من أحد الجانبين ($\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$)

٤ — وضع حاجز أبيض على بعد ٥ أمتار من مصدر ضوء بحيث يقع الضوء عمودياً عليه ثم ابعد بمقدار ٥ أمتار أخرى وأدير حتى صارت الزاوية بين الاشعة الواقعة عليه وبين العمود على سطحه ٦٠ درجة . أوجد النسبة بين شدتى الاستضاءة على سطحه فى الحالتين (٨ : ١)

٥ — مصباحان قوة اضاءة أحدهما ١٦ شمعة وقوة اضاءة الآخر ٢ شمعة والبعء بينهما ٦ أمتار أوجد أين يجب أن يوضع حاجز على سمت المستقيم الواصل بين المصباحين بحيث تكون شدة الاستضاءة على سطحه من جراء الضوء الواقع عليه من كل من المصدرين على حدته واحدة

(أولاً : بين المصدرين وعلى بعد $\frac{2}{3}$ متراً من الاول

٦ ثانياً : على بعد من ٢٤ متراً من الاول فى الجانب الآخر)

٦ — مصدرا ضوء قوة اضاءة كل منهما شمعتان ، وضعا فى أحد جانبي فتومتر بنزن بحيث

كان أحدهما على بعد قدم عن قرص الفتومتر ، والآخر على بعد قدمين عنه . أوجد أن يجب أن يوضع مصدر قوته خمس شمعات لكي تختفى البقعة الدهنية (١,٤١٤ من القدم في الجانب الآخر)
 ٧ - وضع مصباحان ١ و ٢ الأول على بعد ٦٠ سنتيمتراً من قرص فتومتر بنزن وفي أحد جانبيه والثاني على بعد ٨٠ سنتيمتراً وفي الجانب الثاني فوجد أن البقعة الدهنية قد اختفت ثم وضع لوح من الزجاج بين المصباح الثاني والفتومتر فوجد أنه يلزم إزاحة هذا المصباح بمقدار ١٠ سنتيمترات لكي تختفى البقعة الدهنية . أوجد نسبة ما يعكسه اللوح من الضوء الواقع عليه
 ($\frac{1}{14}$)

الباب الثاني

١ - رجل ارتفاعه ٦ أقدام . أوجد ارتفاع أقصر مرآة توضع رأسية ، ويتسنى له ان يرى صورته كاملة فيها (٣ أقدام)

٢ - سقط شعاع من الضوء على إحدى مرآتين مستويتين تميل احدهما على الأخرى بحيث كان مسيره قبل الوقوع عليها موازياً لسطح الثانية فبعد انعكاسه مرتين صار مسيره موازياً للاولى . أوجد الزاوية بين المرآتين (٦٠ درجة)

٣ - ارسم رسماً دقيقاً يبين مواضع الصور الحادثة لجسم موضوع بين مرآتين الزاوية بينهما ٣٠ درجة . وارسم محور مخروط الاشعة التي ترى العين بها الصورة الحادثة بعد ثلاثة انعكاسات (أولاً) وهي متجهة نحو إحدى المرآتين (ثانياً) وهي متجهة نحو الأخرى

٤ - مرآة مستوية كان بعدها عن جسم موجود أمامها متراً ثم أزيحت في الاتجاه العمودي على سطحها بعيداً عن الجسم بمقدار متر واحد ، بين مدى إزاحة الصورة في أثناء ذلك ووضح اجابتك بالرسم (إزاحة الصورة متران)

٥ - مرآتان متوازيتان البعد بينهما أربعة أمتار ، وضع جسم بينهما وعلى بعد متر من احدهما أوجد البعد بين الصورتين الثالثة والرابعة اللتين تريان في المرآة الثانية وارسم محور مخروط الاشعة

التي ترى العين بها كل واحدة منهما (متران)

٦ — علقت مرآة مستوية مستطيلة الشكل ارتفاعها متر على حائط في غرفة بحيث كانت رأسية وكان حرفها الأسفل موازياً لأرض الغرفة وعلى بعد مترين منه ، فإذا كان الحائط المقابل للمرآة على بعد أربعة أمتار منها ، وكان ارتفاعه أربعة أمتار فأرسم شكلاً دقيقاً يبين موضعاً تستطيع فيه العين أن ترى صورة هذا الحائط من أعلاه الى أسفله في تلك المرآة

٧ — أثبت أن الشعاع الذي ينعكس عن سطحى مرآتين بينهما زاوية ثابتة ، يكون انحرافه عن مسيره الأول ثابتاً أياً كانت زاوية سقوطه ، وأوجد قيمة هذا الانحراف عند ما تكون الزاوية بين المرآتين ٥٠ درجة

{ إذا رمز للزاوية بين المرآتين بالحرف θ وكانت منفرجة ولزاوية السقوط على الأولى بالرمز α فالشعاع المنعكس عن سطح الأول ينحرف عن مسيره الأول بزاوية قدرها $\alpha - \theta$ (٩٠ - α) وتصير زاوية سقوطه على الثانية $\alpha = (\alpha - \theta + \theta)$ فيعاني عند الانعكاس الثاني انحرافاً آخر قدره

$$\alpha - \theta + \theta - \theta = \alpha - \theta$$

اذن الانحراف الكلى $= 360 - 2\theta$ (ولا يتوقف على قيمة زاوية السقوط)

وإذا كانت $\theta = 50$ فإن الانحراف يكون ٢٦٠ درجة {

٨ — من الطرق المتبعة لقياس زاوية ارتفاع نجم فوق الافق أن يرصد النجم رأساً بواسطة تلسكوب قابل للدوران حول دائرة رأسية مدرجة ، ويوضع على امتداد المستوى الرأسى للدائرة حوض به زئبق ثم ترصد بواسطة التلسكوب صورة النجم الحادثة بالانعكاس عند سطح الزئبق فتكون الزاوية بين موضعى محور التلسكوب فى الحالتين مساوية ضعف زاوية ارتفاع النجم فوق الافق . أثبت هذا

٩ — وضع جسم ارتفاعه ستمتر على امتداد محور مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٤٠ ستمتراً بحيث كان بعده عن المرآة

(أولاً) ٨٠ ستمتراً (ثانياً) ٣٠ ستمتراً (ثالثاً) ١٠ ستمترات . أوجد موضع

الصورة وارتفاعها في كل حالة

(أولاً : ٢٦ ٢/٣ وارتفاعها ١٢ سم ٦ ثانياً : ٦٠ وارتفاعها ٢ سم ٦ ثالثاً : خلف المرآة وارتفاعها ٢ سم)

١٠ - وضع جسم ارتفاعه ٣ سنتمترات على امتداد محور مرآة محدبة نصف قطر تكورها

٦٠ سنتمترًا . أوجد موضع الصورة وارتفاعها عند ما يكون بعد الجسم عن المرآة ٥٠ سنتمترًا

(١٨ سم خلف المرآة ، ١٢ سم)

١١ - وضعت شمع موقدة على بعد أربعة أمتار من حائط ويراد الحصول على هذا الحائط

على صورة حقيقية للهب الشمعة تكون نسبة طولها الى طول اللهب ٥ . فما البعد البؤري للمرآة

اللازمة لذلك وأن يجب وضعها . (البعد البؤري ٢ المتر وبعد الشمعة عن المرآة متر)

١٢ - مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٥٠ سنتمترًا يراد بوساطتها الحصول على صورة

لجسم يكون طولها ثلاثة أمثال طول الجسم ، فكم يلزم أن يكون بعد الجسم عن المرآة (أولاً)

إذا كانت الصورة حقيقية (ثانياً) إذا كانت تقديرية

(الحالة الأولى : ٣٠ سم ٦ الثانية : ١٥ سم)

١٣ - مرآة مقعرة وأخرى محدبة وضعتا وسطحاهما العاكسان متواجهان ومحوراهما منطبقان

والبعد بينهما ٤٠ سنتمترًا ، فإذا كان البعد البؤري لكل منهما ١٠ سنتمترات ، ووضع في منتصف

البعد بينهما جسم ارتفاعه خمسة سنتمترات فأوجد موضع الصورة وارتفاعها عند ما تتكون

الصورة بالانعكاس (أولاً) عن سطح الاولى ثم الثانية و (ثانياً) عن سطح الثانية ثم الاولى

(أولاً : بعد الصورة ٦ ٢/٣ خلف المحدبة وطولها ٢/٣ السنتمتر

٦ ثانياً : » » ١٢ ٢/٣ أمام المقعرة وطولها ٢/٣ من السنتمتر)

١٤ - وضع جسم على بعد ٢٤ سنتمترًا من مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٣٦ سنتمترًا

ووضع عند مركز تكور المرآة المقعرة مرآة مستوية سطحها العاكس . توجه نحو المقعرة وتميل

على المحور بزواوية قدرها ٤٥ درجة . أوجد موضع الصورة الحادثة بالانعكاس عن سطح المقعرة ثم

المستوية وارسم شكلًا يوضح تكون هذه الصورة .

(تتكون الصورة على بعد من المركز مقيسًا في اتجاه عمودي على المحور قدره ٣٦ سنتمترًا)

- ١٥ — وضعت قطعة مستطيلة ضيقه من مرآة مستوية بين ابرة رأسية ومرآة محدبة بحيث كان البعد بين المرأتين ٨ سنتمترات والبعد بين المرآة المستوية والابرة ١٤ سنتمترًا . فظهرت الصورة الحادثة بالانعكاس عند سطح المستوية والصورة الحادثة بالانعكاس عند سطح المحدبة منطبقتين . أوجد البعد البؤري للمرآة المحدبة (٨,٢٥ من السنتمتر)
- ١٦ — الزاوية التي يصنعها قطر الشمس عند مرآة مقعرة نصف قطر تكورها عشرة أمتار هي نصف درجة ، أوجد قطر صورة الشمس الحادثة بفعل هذه المرآة (٤,٣٦ سم بالتقريب)

الباب الثالث

- ١ — وضع مكعب من الزجاج طول ضلعه خمسة سنتمترات على صحيفة من الورق ، ونظر اليها خلال المكعب في اتجاه عمودي على سطحها . أوجد الازاحة الظاهرية الحادثة في موضع الصحيفة مع العلم بأن معامل الانكسار في الزجاج ١,٥ (١,٢ سم)
- ٢ — ا ب ح مثلث فيه الضلعان ا ب و ب ح متساويان وطول كل منهما ٤ سنتمترات وفيه زاوية ا ب ح قائمة فاذا كان هذا المثلث مقطوعاً عرضياً لمنشور ثلاثي قائم الزاوية من الزجاج ومعامل انكسار الضوء فيه $\frac{4}{3}$ وسقط شعاع من الضوء موازياً للوتر ا ح على السطح ا ب وكانت نقطة سقوطه تبعد بمسافة سنتمتر من نقطة ا ، فارسم شكلاً دقيقاً يبين مسير الشعاع عند نفوذه خلال المنشور
- ٣ — بين أن الشعاع الذي يسقط على أحد السطحين المتوازيين للوح من الزجاج يخرج عند نفاذه خلال اللوح من السطح الآخر وأنه اذا لم يكن السطحان متوازيين فقد يكون من المحال خروجه من السطح الثاني
- ٤ — اذا نظر خلال لوح من الزجاج سمكه أربعة سنتمترات في اتجاه عمودي على اللوح الى جسم يبعد عن السطح القريب منه بمقدار ثلاثة سنتمترات . فأوجد مقدار الازاحة الظاهرية

الحادثة في موضع الجسم مع العلم بأن معامل الانكسار في الزجاج $\frac{4}{3}$ (١٤)

٥ — معامل انكسار الضوء في الماس $\frac{2}{3}$ وفي الزجاج $\frac{4}{3}$. أوجد معامل انكساره من الزجاج الى الماس وأوجد قيمة الزاوية الحرجة لهذين الوسيطين

$$\left(\frac{2}{3}\right) \text{ ح } 6 \left(\frac{4}{3}\right)$$

٦ — غمر منشور أجوف من الزجاج مملوء بالهواء ، في اناء يحتوي على الماء . ارسم شكلاً يبين مسير شعاع من الضوء ينفذ خلال المنشور

٧ — اذا كانت زاوية سقوط شعاع على سطح لوح من الزجاج هي θ وزاوية انكساره فيه هي ϕ وسمكة s فأثبت أن البعد بين الشعاع الساقط وامتداد الشعاع النافذ يساوى

$$\frac{s(\theta - \phi)}{\sin \theta}$$

٨ — كرة من الزجاج نصف قطرها e ستمترات وعلى بعد من مركزها قدره ستمتر توجد نقطة سوداء . أوجد الموضع الظاهري لهذه النقطة اذا نظر اليها على امتداد القطر الذى تقع عليه مع العلم بأن معامل انكسار الضوء في الزجاج $\frac{4}{3}$

(٢٢ من أحد الجانبين $\frac{5}{4}$ من الآخر)

٩ — فقاعة هوائية صغيرة في داخل كرة من الزجاج نصف قطرها أربع بوصات تظهر اذا ما نظر اليها بحيث ينطبق خط البصر على قطر الكرة المار بها على بعد بوصة واحدة من السطح أوجد موضعها الحقيقي مع العلم بأن $\frac{4}{3} = \mu$ (١٤)

١٠ — كتلة من مادة شفافة معامل انكسار الضوء فيها ١,٣٣ ومحدودة بسطح محدب نصف قطر تكوره ٨ مليمترات . أوجد البعد البؤرى الثانى لها عند انكسار الضوء من الهواء اليها

(٣,٢٢ سم)

١١ — أوجد البعد البؤرى لعدسة مقعرة الوجهين ، نصف قطر تكور أحدهما ٢٥ سم ونصف قطر تكور الآخر ٣٠ سم اذا كان معامل انكسار الضوء فيها ١,٥ (٣٣)

١٢ — عدسة من الزجاج أحد وجهيها مقعر ونصف قطر تكوره ٣٠ سم والآخر محدب ونصف قطره ٢٥ سم فاذا كان معامل انكسار الضوء في الزجاج ١,٥ فهل تكون العدسة

لامة أو مفرقة وكم يكون بعدها البؤرى (لامة وبعدها البؤرى ٣٠٠ سم)

١٣ — اذا غمرت العدسة المذكورة في المثال السابق في الماء وكان معامل انكسار الماء $\frac{4}{3}$

فهل تكون لامة أم مفرقة وكم يكون بعدها البؤرى (لامة وبعدها البؤرى ١٢٠٠ سم)

١٤ — غمر مصباح كهربائي صغير في اناء كبير يحتوى على ماء بحيث كان عمقه تحت سطح

الماء ١٠ سنتيمترات أوجد نصف قطر اصغر قرص يمكن اذا ما طفا على سطح الماء أن يحجب

المصباح عن العين أيا كان موضعها في الهواء (١١ ر ٥ سم)

١٥ — يسقط شعاع من الضوء على وجه منشور ثلاثي وزاوية سقوطه 60° . فاذا كان

معامل انكسار الضوء في المنشور 1.64 فما هي أكبر قيمة لزاوية رأس المنشور تخول نفوذ

الشعاع خلال المنشور (60° درجة ، 27° دقيقة بالتقريب)

١٦ — وضع جسم ارتفاعه ٤ سنتيمترات عموديا على محور عدسة لامة بعدها البؤرى

٤٠ سنتيمترا وعلى بعد من العدسة قدره

(أولا) متر . (ثانياً) ٥٠ سنتيمتراً . (ثالثاً) ٢٠ سنتيمتراً . أوجد في كل حالة موضع

الصورة وارتفاعها

[(أولا) $66\frac{2}{3}$ (ثانياً) 200 (ثالثاً) $86\frac{40}{100}$]

١٧ — أين يكون موضع الصورة في المسألة السابقة وكم يكون ارتفاعها اذا كانت العدسة

مفرقة وبعد الجسم عنها ٥٠ سنتيمتراً ($176\frac{24}{100}$)

١٨ — وضعت شمعة موقدة على بعد ٤ أمتار من حائط ويراد بواسطة عدسة الحصول على

صورة مكبرة أربع مرات للشمعة على الحائط . فما نوع العدسة اللازمة لذلك وكم يكون بعدها

البؤرى وأين يجب وضعها

(لامة بعدها البؤرى ٦٤ وتوضع بين الشمعة والحائط على بعد ٨٠ سم منها)

١٩ — عدستان لامتان متلاصقتان البعد البؤرى لكل ٤٠ سنتيمتراً . وضع جسم على

بعد قدره ٢٥ سنتيمتراً منهما ، فأين يكون موضع صورته وما نوعها

(حقيقية على بعد ١٠٠ سم من العدستين)

٢٠ — عدستان متلاصقتان البعد البؤرى لاحدهما ٣٠ سنتمترا والآخرى ٢٠ سنتمترا .
 وضع جسم على بعد قدره ٢٥ سنتمترا منهما . أوجد موضع الصورة ونوعها ونسبة طولها الى
 طول الجسم (أولا) اذا كانت الاولى لامة والثانية مفرقة
 (ثانياً) » » » مفرقة » لامة

(أولا : تقديرية بعدها $١٧\frac{١}{٧}$ ونسبة طولها الى طول الجسم $\frac{١٢}{٧}$)

٦ ثانياً : » » » $٤٢\frac{٦}{٧}$ » » $(\frac{١٢}{٧})$

٢١ — وضعت عدسة لامة بعدها البؤرى ٥٠ سنتمترا على بعد ٢٥ سنتمترا من أخرى
 لامة تشابهها . ووضع في الجانب الآخر من الأولى جسم . أوجد نوع الصورة الحادثة بفعل
 العدستين وموضعها ونسبة طولها الى طول الجسم (أولا) اذا كان الجسم على بعد ٤٠ سنتمترا
 من العدسة الأولى (ثانياً) اذا كان على بعد ٧٥ سنتمترا منها

(أولا : حقيقة على بعد ٧٠ سنتمترا من الثانية والنسبة $\frac{١٤}{٩}$)

٦ ثانياً : » » » $٣٥\frac{٥}{٧}$ » » $(\frac{٤}{٧})$

٢٢ — وضعت عدسة لامة بعدها البؤرى ٥٠ سنتمترا على بعد ٣٠٠ سم من جسم
 ووضع في الجانب الآخر منها عدسة مفرقة بعدها البؤرى ٣٠ سنتمترا . أوجد موضع الصورة
 الحادثة بفعل العدستين ونوعها ونسبة طولها الى طول الجسم (أولا) اذا كان البعد بين العدستين
 ٤٠ سنتمترا (ثانياً) اذا كان البعد بينهما ٢٠ سنتمترا

(أولا : حقيقة على بعد ٦٠ سم من المفرقة والنسبة $\frac{٣}{٢}$)

٦ ثانياً : تقديرية » » ١٢٠ سم من المفرقة » (٦)

٢٣ — سهم اطوله ٥ سنتمترات وضع منطبقاً على المحور الرئيسى لعدسة لامة بعدها البؤرى
 ١٠ سنتمترات فاذا كان رأس السهم مشيراً نحو العدسة وعلى بعد ٢٠ سنتمترا منها ، فأوجد
 وضع الصورة بالنسبة الى المحور وطولها

(الصورة منطبقة على المحور في الجانب الثانى ورأسها بعيد عن العدسة وطولها $\frac{٣}{٤}$)

٢٤ - الضوء الصادر من نقطة a موجودة على محور عدسة لامة يقع بعد نفوذه منها على سطح مرآة محدبة

وينعكس عنها . ويخترق العدسة عائدا مرة أخرى الى نقطة a . فاذا كان بعد العدسة عن المرآة ١٠ سنتمترات وبعد a عن المرآة ٣٠ سنتمترا والبعد البؤرى للعدسة ١٢ سنتمترا أوجد نصف قطر تكور المرآة

(٢٠)

٢٥ - اذا كان معامل الانكسار من الهواء الى الماء $\frac{4}{3}$ ومن الهواء الى الزجاج $\frac{3}{2}$ فأوجد نسبة البعد البؤرى لعدسة من الزجاج مغمورة في الماء الى بعدها البؤرى وهى في الهواء (٤)

٢٦ - نصف كرة من الزجاج قطرها ٦ سنتمترات ، ومعامل انكسار الضوء فيها $١,٥$ ثبتت بحيث كان سطحها المستوى ملامساً لسطح سائل معامل انكسار الضوء فيه $١,٥$ وبحيث كان سطحها المحدب ملامساً للهواء فاذا فرض أن نقطة مضيئة موجودة على امتداد العمود على سطح السائل الممار بمركز تكور السطح ومغمورة في السائل وعلى بعد سنتمترين من المركز . أثبت أن جميع الأشعة الخارجة من السطح المحدب تتقابل امتداداتها في نقطة على امتداد العمود المذكور تبعد بمقدار $٤,٥$ من السنتمتر عن مركز السطح

٢٧ - اذا كان بعد الجسم عن البؤرة الرئيسية الاولى لعدسة s وبعد صورته عن البؤرة الرئيسية الثانية s' والبعد البؤرى للعدسة r فأثبت أن $s = s' = r$ (بصرف النظر عن الاشارات)

٢٨ - البعد البؤرى لعدسة لامة ١٠ سنتمترات وضعت العدسة في اناء ضيق من الزجاج رقيق الجدران وملىء الاناء ماء ، أوجد موضع الصورة التى تتكون بواسطة العدسة في هذه الحالة لجسم بعيد جدا مع العلم بأن معامل الانكسار للعدسة $١,٥٣$ وللماء $١,٣٣$

(٣٥,٢ من السنتمتر)

٢٩ - تكونت بواسطة عدسة لامة صورة حقيقية مكبرة لجسم ثم أزيلت العدسة (مع ثبوت الجسم والحاجز الذى تتكون عليه الصورة) بعيدا عن الجسم فتكونت في موضع آخر لها صورة حقيقية مصغرة للجسم . فاذا رمز لطول الجسم بالحرف a ولطول احدى صورتين بالرمز a_1 ، ولطول الأخرى بالرمز a_2 فأثبت ان $\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{2}$

٣٠ — فضض السطح المستوي لعدسة محدبة مستوية بحيث يعمل هذا السطح عمل مرآة فينعكس الضوء عنده انعكاساً داخلياً ووجد أن العدسة في هذه الحالة تعمل في لم الاشعة المتوازية عمل مرآة مقعرة بعدها البؤرى ٣٠ سنتمترا فإذا كان معامل انكسار الضوء في مادة العدسة $\frac{4}{3}$ فأوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة (٣٠ سم)

٣١ — اذا فضض السطح المستوي لعدسة محدبة مستوية بحيث ينعكس الضوء عنده انعكاساً داخلياً ، فان العدسة تعمل في لم الاشعة المتوازية عمل مرآة مقعرة بعدها البؤرى ٢٠ سنتمترا اما اذا فضض السطح المحدب بحيث ينعكس عنده الضوء انعكاساً داخلياً فانها تعمل عمل مرآة مقعرة بعدها البؤرى ٧ سنتمترات . أوجد معامل انكسار الضوء في العدسة (١,٥٤)

الباب الرابع

١ — اذا كان أقصى مدى الرؤية الواضحة بالنسبة الى شخص هو متر ونصف متر وأدناها اليه ٢٥ سنتمترا ، فأوجد درجة العدسة (بالديوبتر) التي يصلح بها بصره وكم يكون أدنى مدى الرؤية الواضحة عند استعماله هذه العدسة

(— $\frac{2}{3}$ أى عدسة مقعرة ٣٠ سم)

٢ — اذا كان أدنى مدى الرؤية الواضحة بالنسبة الى رجل هو ٥٠ سنتمتراً وأدناها للعين السليمة ٣٠ سنتمتراً فأجد درجة العدسة التي يصلح بها بصره ($+\frac{1}{3}$)

٣ — رجل يرى بوضوح على بعد خمس بوصات من عينه يريد أن يقرأ اعلاناً على بعد ١٥ قدماً . ما نوع العدسة التي يلزم استعمالها وما بعدها البؤرى

(مقعرة $5\frac{1}{3}$ بوصة)

٤ — رجل مصاب بطول النظر أدنى مدى الرؤية الواضحة بالنسبة اليه ٥٠ سنتمتراً يرى أن أدنى مدى رؤيته الواضحة يصير ٢٠ سنتمتراً اذا استخدم نظاراته . أوجد البعد البؤرى

لعدستي النظارة (— $33\frac{1}{3}$ سم)

٥ - رجل لا يرى بوضوح الا اذا كان الجسم على بعد ١٥ سنتمرا من عينه . أوجد البعد البؤرى للعدسة التى تصلح له (أولا) عند القراءة (ثانياً) عند السير فى الطرقات (ثالثاً) عند النظر الى جسم بعيد ، مع العلم بأن أدنى مدى الرؤية الواضحة فى العين السليمة ٣٠ سنتمرا وان الرجل المذكور يلزم أن يرى الأشياء بوضوح فى الطرقات على بعد ٤ أمتار منه

$$(+ ٣٠ \text{ سم} + ٦ + ١٥,٥ \text{ سم بالتقريب } ٦ + ١٥ \text{ سم})$$

٦ - اذا كان البعد البؤرى لاجدى عدستى ميكروسكوب سنتمرا وللأخرى ٥ سنتمترات والبعد بينهما ٢٠ سنتمرا وكان أدنى مدى الرؤية الواضحة لشخص يستعمل هذا الميكروسكوب ٢٥ سنتمرا . فعلى اى بعد يجب أن يوضع الجسم وما درجة تكبير الميكروسكوب

$$(١٦\frac{٦}{٥} \text{ من الشيئية } ٨٩٦)$$

٧ - عدسة لامة بعدها البؤرى ٣٠ سنتمرا واخرى مفرقة بعدها البؤرى ٥ سنتمترات ركب منهما منظار غاليلي . اوجد درجة تكبيره (٦)

٨ - منظار فلكى البعد البؤرى لشيئته ٣٠ بوصة ولعينيته بوستان . اوجد درجة تكبيره اذا نظره الى جسم بعيد (اولاً) عند ما تكون الصورة بعيدة (ثانياً) عند ما تكون على بعد ١٢ بوصة من عين الرائي . وأوجد البعد بين عدستيه فى الحالتين

$$(\text{اولاً : } ١٥ \text{ و } ٣٢ \text{ و } ٦ \text{ ثانياً : } ١٧,٥ \text{ و } ٣١\frac{٥}{٦})$$

٩ - يستعمل تلسكوب فلكى لرؤية جسم على بعد ٢٠ ياردة ويهياً بحيث ترى الصورة عند أدنى مدى الرؤية الواضحة . فاذا كان البعد البؤرى للشيئية قدمين وللعينية ٤ بوصات . فأوجد درجة تكبيره . وكم تكون هذه الدرجة اذا نظرفيه والعين غير متكيفة مع العلم بأن أدنى مدى الرؤية الواضحة ١٠ بوصات (٦٦٨٢٦)

١٠ - البعد البؤرى للرآة المقعرة فى منظار نيوتن ١٠ أقدام ، فكم يلزم ان يكون البعد البؤرى للعينية اذا أريد أن تكون درسة تكبير المنظار ٢٥٠ (١٢ من البوصة)

١١ - البعد البؤرى لشيئية تلسكوب متران ولعينيته ١٠ سنتمترات ، هي ولكى يرى به جسم بعيد والعين غير متكيفة ، ثم أزيحت العينية بعيداً عن الشيئية بمقدار سنتمترين فعلى

أى بعد منها يجب ان يوضع حاجز لئى تتكون عليه صورة حقيقية للجسم البعيد (٦٠) ١٢ — آلة تصوير عدستها اللامة بعدها البورى ١٠ بوصات. وضع خلف هذه العدسة اخرى مفرقة بعدها البورى ٥ بوصات وعلى بعد ٦ بوصات من الاولى . اين تتكون صورة جسم بعيد وما البعد البورى للعدسة المكافئة (٢٠ بوصة — ٥٠ بوصة) ١٣ — اذا رمز للبعد البورى لعدسة مكبرة بالحرف l ولأدنى مدى الرؤية الواضحة للعين بالحرف e ولبعد العدسة عنها بالحرف 1 فأثبت أن درجه تكبير العدسة تساوى $1 + \frac{1}{r}$

البَابُ السَّابِعُ

١ — منشور من نوع من الزجاج يحرف شعاعاً أحمر بزاوية قدرها ١٠ درجات ويحرف شعاعاً أزرق بزاوية قدرها ١٦ درجة . وآخر من نوع آخر من الزجاج يحرف الشعاع الاول بزاوية قدرها ١٢ درجة ويحرف الشعاع الثانى بزاوية قدرها ١٨ درجة فإى المنشورين تكون شدة تشتيته للضوء أكبر (الاول)

٢ — منشور زاوية رأسه ٥ درجات ومعامل انكسار الضوء فيه ١,٥ وشدة تشتيته للضوء ٠,٢١ يراد تركيبه مع آخر من مادة معامل انكسار الضوء فيها ١,٦ وشدة تشتيتها للضوء ٠,٤٢ بحيث يكون المركب لا لونياً فما زاوية المنشور الثانى (درجتان وخمس دقائق)

٣ — أوجد البعد البورى لعدسة من الزجاج الصخرى يلزم تركيبها مع عدسة لامة من الزجاج التاجى بعدها البورى ٧٥ سنتمتراً وشدة تشتيتها للضوء ٠,٢١ بحيث تصير المركبة لا لونية وأوجد البعد البورى للعدسة المركبة مع العلم بأن شدة تشتيت الزجاج الصخرى للضوء ٠,٤٥ $(\frac{180}{8} - 6 \frac{160}{7})$

٤ — اذا علم أن شدة تشتيت الزجاج الصخرى للضوء ٠,٣ وشدة تشتيت الزجاج التاجى ٠,٥٥، وراى تركيب عدسة لامة لا لونية بعدها البورى ٦٠ سنتمتراً من عدستين من النوعين المذكورين من الزجاج فما البعد البورى لكل منهما $(24 - 640 +)$

البعد بين المحطتين ١٥ كيلومتراً . وكانت سرعة الضوء 3×10^{10} سنتمة في الثانية فما عدد دورات العجلة في الثانية اذا كان الضوء النافذ في الفرجة بين سنين يلاقى عند عودته السن التالى لهذه الفرجة $(\frac{8}{3})$

٤ - اذا فرض ان أحد أقمار المشتري يستغرق في دورته حول المشتري ٤٠ ساعة وان سرعة الضوء ١٨٧٠٠٠ ميل في الثانية وسرعة الارض في فلكها حول الشمس ١٨ ميلا في الثانية فأوجد أطول فترة تمضي بين خسوفين متتاليين (٤٠ ساعة ١٣,٩٦ من الثانية)

الباب التاسع

١ - اذا رمز لزاوية السقوط بالحرف θ وازاوية الانكسار بالحرف ϕ وكان الضوء يسقط من وسط أقل كثافة الى وسط أكبر كثافة ورمز لسرعته في الاول بالحرف v فأثبت أنه طبقاً لنظرية الدقائق تكون زيادة مركبة سرعة الدقائق الضوئية في الاتجاه العمودي على السطح الحادث عنده الانكسار تساوى

$$\frac{v \sin \theta - v' \sin \phi}{v \sin \theta}$$

٢ - أثبت انه وفقاً لنظرية الدقائق يكون تغير طاقة حركة الدقيقة عند الانكسار غير متوقف على قيمة زاوية السقوط او زاوية الانكسار

٣ - أثبت انه وفقاً لنظرية الدقائق يكون مسير الدقيقة الضوئية في منطقة نفوذ السطح عند الانعكاس أو الانكسار قطع مكافئ.

٤ - أثبت انه وفقاً لقاعدة هيجنز تكون زاوية سقوط الضوء مساوية زاوية الانعكاس

٥ - طبق قاعدة هيجنز لرسم مسير شعاع من الضوء ينفذ داخل منشور ثلاثى من الزجاج

الباب العاشر

- ١ - طبقت تجربة المنشور الثنائي للحصول على هدب تداخل ودان البعد بين الفتحة والمستوى البؤرى للعينة ١٠٠ سنتمتر، ثم وضعت عدسة لامة بين المنشور الثنائي وبين العينة فأمكن بواسطتها الحصول في موضع على صورتين للفتحة البعد بينهما ٤,٠٥ من المليمتر وفي موضع آخر على صورتين أخريين البعد بينهما ٢,٩٠ من المليمتر . فإذا كان الطول الموجي للضوء ٠,٠٠٠٠٥٩ ، فأوجد البعد بين كل هدبة وأخرى (١٧,٠ من المليمتر بالتقريب)
- ٢ - تكونت حلقات نيوتن بين سطح مستوى من الزجاج والسطح المحدب لعدسة من الزجاج ، فكان قطر الحلقة الثالثة المظلمة سنتمتر . والضوء المستعمل ضوء لهب الصوديوم وطوله الموجي ٠,٠٠٠٠٥٨٩ من السنتمتر . فإذا كانت الزاوية بين مسير الضوء في الغشاء الهوائى وبين العمود على سطحه هي ٦٠ درجة فأوجد نصف قطر تكور سطح العدسة (٧٠٧,٤ من السنتيمتر)
- ٣ - غشاء من الصابون مضاء بضوء ابيض ثبت في وضع رأسى امام فتحة سبكتروسكوب مستقيم وكانت الفتحة أفقية ، واخذ الغشاء يرسب بالتدريج فصف واشرح ما يرى في اثناء ذلك خلال السبكتروسكوب
- ٤ - أثبت ان اختلاف الطور بين الاهتزازتين في الشعاعين المتداخلين في مقياس جامن يساوى

$$\frac{d}{n} (\text{حتا } r - \text{حتا } r')$$

- باعتبار ان m معامل انكسار اللوح d سمك كل من اللوحين n الطول الموجي للضوء r زاوية الانكسار في احد اللوحين r' زاوية الانكسار في الآخر
- ٥ - وضع في مسير كل من الحزمتين المتداخلتين في مقياس جامن لوح من الزجاج سمكه سنتمتر ، ومعامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فيه ١,٥٢٦ ، ومعامل تمدده بالحرارة ٠,٠٠٠٠٠٨ . فلو حظ انه اذا ما ارتفعت درجة حرارة أحد اللوحين درجة واحدة مرت بمنصف

مجال النظر ١٤ هدبة فأوجد قيمة ما يؤول اليه معامل الانكسار في هذا اللوح مع العلم بأن الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم 0.0000589 (1.0269 بالتقريب)

٦ — اذا كان الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم 0.00005892 من السنتيمتر وتكونت بواسطة المنشور الثنائي هدب التداخل فأوجد البعد بين هدبتين اذا علم أن البعد بين الفتحة والمنشور وبين المنشور والمستوى البؤري للعينية يساوى كل منهما 50 سنتيمتراً والزاوية المنفرجة في المنشور 179° ومعامل الانكسار فيه 1.5 (0.135 من السنتيمتر)

٧ — اذا كان الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم 0.00005897 وكان قطر احدى حلقتين متتاليتين من حلقات نيوتن هو سنتيمتر وقطر الأخرى 1.01 من السنتيمتر فأوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة (85.2 من السنتيمتر)

٨ — أوجد سمك الطبقة الهوائية المحصورة بين لوحين من مادة شفافة معامل انكسار الضوء فيها $\frac{4}{3}$ اذا كان الضوء ذو الطول الموجي 5×10^{-7} من السنتيمتر يعدم في الضوء المنعكس عند هذه الطبقة مع العلم بأن زاوية سقوط الضوء على سطح هذه الطبقة هي 30° (0.0003535 من السنتيمتر او اضعاف هذا المقدار)

٩ — أوجد سمك غشاء الصابون الذى اذا سقط على سطحه ضوء ابيض وكانت زاوية السقوط 45° واختبر الضوء المنعكس عنه بواسطة سبكتروسكوب ظهرت في طيفه منطقة مظلمة ينطبق منتصفها على الموضع الذى يكون الطول الموجي فيه 0.00006 من السنتيمتر مع العلم بأن معامل انكسار محلول الصابون $\frac{4}{3}$ (0.0000265 من السنتيمتر او اضعاف هذا)

١٠ — اذا كان الغشاء الفتوغرافي في طريقة ليمان في التصوير بالألوان جافاً يظهر لونه أزرق مقابل الطول الموجي 0.00004 من السنتيمتر واذا كان مبلولاً يظهر لونه احمر مقابل الطول الموجي 0.00007 من السنتيمتر . اوجد النسبة بين سمكى الغشاء في الحالتين (1.75)

الباب الحادي عشر

- ١ - أوجد انصاف اقطار المناطق الثلاث الاولى في لوح ذى مناطق يجمع أشعة ضوء
 لهب الصوديوم المتوازية في نقطة تبعد عنه بمقدار مترين مع العلم بأن الطول الموجى لضوء لهب
 الصوديوم 0.000589 من السنتيمتر . ثم قدر البعد البؤرى بالنسبة الى الطول الموجى
 0.000546 من السنتيمتر ($1,096$ $1,046$ $1,886$ من المليمتر بالتقريب 2166 سنتيمتر)
 ٢ - اذا فرض أن الطول الموجى للطرف الاحمر من الطيف 0.0007 من السنتيمتر
 وللطرف البنفسجى 0.0004 من السنتيمتر فأثبت أن الطيف ذا المرتبة الاولى الحادث بفعل
 محزوز الحيود يظهر قائماً بذاته أما ذوا المرتبتين الثانية والثالثة فيقع طرف أحدهما على طرف الآخر
 ٣ - اذا رمز للبعد بين كل خطين متتاليين من محزوز الحيود بالحرف h وهىء المحزوز
 بحيث كان عمودياً على محور الجمع وأضيئت فتحته بضوء لهب الصوديوم ورمز لزاوية حيود
 الصورة الاولى الحادثة للفتحة بالحرف θ . ثم ضيقت الفتحة حتى ظهر خطا الصوديوم
 منفصلين ورمز للبعد الزاوى بينهما بالرمز ϕ . فأثبت أن الفرق فى الطول الموجى بين الخطين
 هو $h \phi$ ، حتاه h

- ٤ - موجة كرية مركزها نقطة a ونصف قطرها r قسمت مناطق نصف دورية
 بالنسبة الى نقطة b ، تبعد عن a بمقدار s + أثبت أن مساحة المنطقة تساوى

$$\frac{\pi r^2 s}{s + r}$$

باعتبار أن r رمز للطول الموجى λ r بعد المنطقة عن نقطة b

- ٥ - أوجد عدد الخطوط التى يلزم أن يحتوى عليها محزوز يتيسر بوساطته أن يرى خطا
 الصوديوم منفصلين فى الطيف ذى المرتبة الثانية اذا علم ان متوسط الطول الموجى للخطين
 0.0006 من السنتيمتر والفرق بينهما 6×10^{-8} من السنتيمتر (500 طبقاً لرايلى)

الباب الثاني عشر

- ١ — اذا سقط ضوء لهب الصوديوم على سطح لوح من الزجاج بحيث تكون زاوية سقوطه ٥٨ درجة ١٨٦ دقيقة فان الضوء المنعكس يكون مستقيماً استقطاباً استوائياً . قدر معامل انكسار اللوح الزجاجي للضوء ($١,٦٢$ بالتقريب)
- ٢ — اذا كان معامل انكسار الشعاع المعتاد في بلورة سبات اسلندا $\frac{1}{2}$ ونسبة المحور الأطول لمدور القطع الناقص من صدر الموجة الغير المعتادة الى المحور الأقصر تساوى $\frac{1}{4}$ وقطع منشور من سبات اسلندا زاوية رأسه ٣٠ درجة بحيث كان المحور البلوى موازياً لحرفه الحارף فأوجد زاوية انحراف كل من الشعاعين المعتاد وغير المعتاد عند سقوط الضوء عمودياً على احد وجهي المنشور (المعتاد ٢٦ درجة ٢٤٦ دقيقة — الغير المعتاد ١٨ درجة ٣٦٦ دقيقة)
- ٣ — اذا علم ان معامل انكسار الشعاع المعتاد من ضوء لهب الصوديوم في بلورة الكوارتز هو $١,٥٤٤٢$ ومعامل انكسار الغير المعتاد $١,٥٥٣٣$. فأوجد النهاية الصغرى لزاوية انحراف كل منهما في منشور من الكوارتز زاوية رأسه ٦٠° ومقطوع بحيث يكون محوره البلورى موازياً لحرفه الحارف (المعتاد $٦٦^\circ ٤١'$ دقائق الغير المعتاد $٥٦^\circ ٤١'$ دقيقة)
- ٤ — اذا علم ان معامل انكسار الشعاع المعتاد في بلورة سبات اسلندا $١,٦٥٨٤$ ومعامل انكسار الغير المعتاد $١,٤٨٦٤$ وسقط شعاع من الضوء على لوح من سبات اسلندا مقطوع بحيث يكون محوره موازياً للسطح وكان المحور واقعاً في مستوى السقوط وكانت زاوية السقوط ٦٠ درجة فأوجد كلا من زاويتي الانكسار (المعتاد $٣١^\circ ٦'$ دقيقة بالتقريب الغير المعتاد $٤٨^\circ ٤٧'$ » »)
- ٥ — منشور روشون مركب من منشورين من الكوارتز مقطوع كل منهما قائم الزاوية متساوى الساقين . فاذا علم أن معامل انكسار أحد الشعاعين $١,٥٥٣$ ومعامل انكسار الآخر $١,٥٤٤$ وسقط شعاع من الضوء عمودياً على سطح المنشور فأوجد الزاوية بين الشعاعين النافذين منه (حوالى ٣١ دقيقة)

الباب الثالث عشر

١ - قدر سمك اللوح الربع الموجى المصنوع من الكوارتز بالنسبة الى ضوء لهب الصوديوم مع العلم بأن معامل انكسار الشعاع المعتاد من ضوء لهب الصوديوم في الكوارتز هو ١,٥٤٤٢ ومعامل انكسار الغير المعتاد هو ١,٥٥٣٣ والطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ من السنتيمتر في الفراغ (٠,١٦ من المليمتر)

٢ - أذيب ٢٠ جراماً من مادة فعالة في ٧٠ جراماً من الماء وكانت كثافة المحلول ١,٢١ من الجرام لكل سنتيمتر مكعب ثم ملئت من المحلول أنبوبة طولها ٢٠ سنتيمتراً ووجد أن الدوران الحادث بفعلها ٣٥ درجة فأوجد الدوران النوعى للمادة (٦٥,١ من الدرجة بالتقريب)

٣ - أعد محلول من السكر يحتوى على ٣ جرامات من السكر في ثمانين سنتيمتراً مكعباً من المحلول وملئت به أنبوبة طولها ٢٢ سنتيمتراً ، فوجد أن زاوية الدوران ٥,٥ من الدرجة أوجد الدوران النوعى للسكر (٦٦,٧)

٤ - ثلاثة ألواح من الكوارتز اليسارى سمكها بالترتيب ٤,٧٣ ٥,٩٦ ٥,٠٥ من المليمتر ومقطوعة عمودياً على المحور وضع كل منها على حدته بين منشورين متعامدين من منشورات نكل . فوجد انه يلزم لكى يمتنع نفوذ الضوء ادارة أحد المنشورين فى الاتجاه اليمى بمقدار ٧٧,٥ من الدرجة عند وضع اللوح الاول وبمقدار ٤٩ درجة عند وضع الثانى وبمقدار ١٨,٣ من الدرجة فى الاتجاه اليسارى عند وضع الثالث . أوجد الدوران النوعى للكوارتز (المتوسط = ٢١,٨٥ من الدرجة للمليمتر)

٥ - عند انفاذ الضوء المستقطب استقطاباً استوائياً خلال لوح بلورى سمكه ٠,٠٣ من السنتيمتر يتحول الاستقطاب الاستوائى الى استقطاب دائرى . فاذا كان الطول الموجى للضوء فى الهواء ٥٨ × ١٠^{-٦} من السنتيمتر وكان السمك المذكور هو أصغر سمك يلزم لذلك فأوجد الفرق بين معاملى انكسار الشعاعين فى البلورة (٢١,٠)

المراجع

- Abeny, W. W. De W. — Colour Measurement and Mixture.
 Andrade, E. N. Da C. — The Structure of the Atom.
 Campbell, N. — Modern Electrical Theory.
 Drude, P. — The Theory of Optics.
 Duncan, J. and Starling, S. G. — A Text Book of Physics.
 Edser, E. — Heat for Advanced Students.
 „ „ — Light for Students.
 Ganot — Elementary Treatise on Physics.
 Glazebrook, R. T. — Heat and Light.
 „ „ — Dictionary of Applied Physics (Vol IV.)
 „ „ — Physical Optics.
 Houston, R. A. — A Treatise on Light.
 Huygens, C. — Treatise on Light.
 Mallik — Optical Theories.
 Parkinson, S. — A Treatise on Optics.
 Peddie, W. — Colour Vision.
 Preston, T. — The Theory of Heat.
 „ „ — The Theory of Light.
 Poynting, J. H. — Pressure of Light.
 „ „ — and Thomson, J. J. — Text Book of Physics : Electricity
 and Magnetism & Heat.
 Richardson, O. W. — The Electron Theory of Matter.
 Schuster, A. and Lees, H. — Advanced Exercises on Practical Physics.
 „ „ and Nicholson, J. W. — An Introduction to the Theory of
 Optics.
 Stewart, R. W. — A Text Book of Light.
 Thomson, J. J. — Rays of Positive Electricity.
 Tyndall, J. — Lectures on Light.
 Watson, W. — A Text Book of Physics.
 „ „ — A Text Book of Practical Physics.
 Willows, R. S. — A Text Book of Physics.
 Wood, R. — Physical Optics.
 Wornsop, B. L. and Flint, H. T. — Advanced Practical Physics.
 Zeeman, P. — Researches in Magneto — Optics
 Encyclopaedia Britannica.

جدول اصلاح الخطا

صفحة	سطر	ورد	وصوابه	صفحة	سطر	ورد	وصوابه
٢	٢	بها	منها	٤٢٨	١٥	$\frac{س٢}{س٢} + \frac{س٢}{س٢}$	$\frac{س٢}{س٢} + \frac{س٢}{س٢}$
٢	٢٣	تتمد	تتمد			$\frac{س٢}{س٢} + \frac{س٢}{س٢}$	$\frac{س٢}{س٢} + \frac{س٢}{س٢}$
٢١	١٦	طورة	صورة			$\frac{س٢}{س٢} = \frac{س٢}{س٢}$	$\frac{س٢}{س٢} = \frac{س٢}{س٢}$
٣٢	٧	ا	ب	٤٣٧	١٦	عند	عن
٣٧	الهامش	virtual	Virtual	٤٤٣	١٤	ب ر	ب ر
١٠٠	١٤	ا	ا	٤٥٩	٢١	على	عن
١٠٨	الهامش	Eguivalent	Equivalent	٤٧١	٩	و	ي
١٣٦	١١	ب ا تنعكس	ب ا تنعكس	٤٩٩	١٥	فرق	نصف فرق
١٣٧	٨	السطح	في السطح	٤٩٩	٢١	لنصف	لنصف
١٥٩	الهامش	Coefficiene	Coefficient	٥٢٠	١٨	الوسط	في الوسط
١٦٥	١	بضع	بضع	٥٢٤	١	ب	ب
١٧١	٥	يكاد يمتص الاشعة التي	يكتاد يمتص الاشعة التي	٥٢٧	١٧	ع من	ع من
		تثير بشدة	تثير بشدة	٥٢٨	١٣	ع ط	ع ط
٢٠٧	٧	$\frac{١}{س٢}$	$\frac{١}{س٢}$	٥٣٥	١٥	تمثل	تمثل
٢٢٥	١٨	$\frac{١}{س٢}$	$\frac{١}{س٢}$	٥٥٩	١٩	$\frac{٣}{٢} ٥, \frac{٣}{٢} ٥$	$\frac{٣}{٢} ٥, \frac{٣}{٢} ٥$
٢٢٦	١٣	$\frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٢}$	$\frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٢}$	٥٨٢	٢٢	يرسب	يركب
٢٣٨	٢١	$\frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٢}$	$\frac{١}{س٢} + \frac{١}{س٢}$	٥٩١	٥	الحلل	الحلل
٢٥٥	١٠	لكل	لكل	٥٩٤	٥	عقروى	عقروى
٢٦١	٦	س	س	٥٩٧	١١	التحقق	للتحقق
٢٦٨	الهامش	ا	ا	٥٩٩	٤	العناصر	المادة
٢٧٤	٤	ب	ب	٦٠٣	٢١	خطى	خطى
٢٧٧	١٦	تستغرق	تستغرق	٦١١	الهامش	Ffluger	Pfluger
٢٧٨	٤	ا ب	ا ب	٦٢١	٧	تكون	تكون فيها
٢٧٩	٢٢	١٤٩٧	١٨٤٩	٦٥١	٥	 (٢)	 (١)
٢٩٨	٦	س	س	٦٥١	٩	س	س
٣٠٩	١٦	وفد واعتبرنا	واعتبرنا	٦٥٢	٣	ملك	ملك
٣٤٧	٨	أفق	رأسى	٦٥٤	٤	ملك	ملك
٣٥٤	٥	للفضيين	للفضيب	٦٥٦	٣	ع	ع
٣٥٧	٩	والفحة	الفحة	٦٧٢	٤	يحمل	يحمل
٣٩٥	٣	من كل	كل من	٦٧٢	٢٠	الرأس	الأس
٤٠٠	١٤	اللوحة ب	المرآة ب	٦٧٣	١٦	السطح	الضغط
٤١٦	١٤	الموجبة	الموجبة	٦٧٣	١٧	الضغط	السطح

محتويات الكتاب

صفحة	بند
٢٠	رسم مسير الاشعة التي ترى العين بها
٢٢	صورة حادثة بالانعكاس
٢١	تأثير انحراف السطح العاكس في سير
٢٣	الاشعاع المنعكس
٢٢	ايجاد الزاوية الواقعة بين سطحين
٢٣	مستويين عاكسين بطريقة ضوئية
٢٣	تعدد الصور بتعدد الانعكاسات —
٢٥	الانعكاس عند السطحين المتعامدين
٢٤	رسم مسير الأشعة التي ترى العين بها
٢٦	الصورة الحادثة في حالة سطحين متعامدين
٢٧	الانعكاس عند سطحين الزاوية بينهما ٩٠°
٢٩	الانعكاس عند سطحين بينهما زاوية ما
٢٧	الانعكاس عند السطحين المتوازيين
٢٨	الانعكاس عند السطح المنحني
٢٩	الانعكاس عند السطح الكروي المقعر
٣٠	البؤرة والبعد البؤري في حالة السطح المقعر
٣١	الصور الحقيقية والصور التقديرية
٣٢	الانعكاس عند السطح الكروي المحدب
٣٣	ايجاد صورة نقطة مضيئة ليست على المحور
٣٤	ايجاد الصورة التي تحدث بالانعكاس
٤١	عند السطح المقعر لجسم أمامه
٣٥	ايجاد الصورة التي تحدث بالانعكاس عند
٤٣	السطح المحدب لجسم أمامه
٣٦	ايجاد نسبة طول الصورة الى طول
٤٤	الجسم — التكبير
٣٧	الصور الحادثة بالانعكاس عند السطح
٤٦	الكروي : مواضعها وصفاتها
٣٨	رسم مسير الأشعة التي ترى العين بها
٤٨	صورة تحدث بالانعكاس عن مرآة كرية
٣٩	غلاف الاشعة المنعكسة عند السطح الكروي
٤٠	الانعكاس عن مدور القطع الناقص
٥٩	ومدور القطع المكافئ

صفحة

الباب الأول

انتشار الضوء في خطوط مستقيمة وقانون التريبع العكسي

١	الضوء وامتداده من المرئي الى العين
٢	انتشار الضوء في خطوط مستقيمة
٣	الظلال
٤	الحسوف والكسوف
٥	الحصول على صور المرئيات بواسطة قبة صغير
٦	شدة الاستضاءة وقانون التريبع العكسي
٧	تعلق شدة الاستضاءة على السطح بزاوية
٧	ميل الاشعة عليه
٨	قوى الاضاءة والمقاولة بينها
٩	المصدر العياري
١٠	فتومتر بوجير
١١	فتومتر رمفرد
١٢	فتومتر بنزن
١٣	فتومتر جولى

الباب الثاني

الانعكاس عند السطوح المستوية والسطوح الكرية

١٤	قانونا الانعكاس
١٥	الاستدلال عملياً على صحة قانوني الانعكاس
١٦	الانعكاس عند السطوح الغير المصقولة
١٧	موضع الصورة التي تحدث بالانعكاس عند
١٩	السطح المستوي
١٨	ايجاد موضع الصورة بطريقة عملية
١٩	الانقلاب الجانبي للصور الحادثة بالانعكاس
٢١	عند السطوح المستوية

الباب الثالث

الانكسار عند السطوح المستوية والسطوح الكرية وخلال العدسات

٤١	قانون الانكسار
٤٢	الاستدلال عملياً على صحة قانون الانكسار
٤٣	معامل الانكسار
٤٤	الطريقة الهندسية لرسم الشعاع المنكسر
٤٥	الانكسار خلال وسط محدود بسطحين
٤٦	مستويين متوازيين
٤٧	قاعدة قبول العكس
٤٧	نفوذ الضوء خلال أكبر من وسطين
٤٨	مختلفين
٤٨	الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي
٤٩	بعض تطبيقات الانعكاس الكلي
٥٠	تعيين مسير شعاع ينعكس انعكاساً
٥١	كلياً : تعيينه بالتجربة
٥١	طريقة الزاوية الحرجة لإيجاد معامل
٥٢	انكسار السائل
٥٢	طريقة وولاستون لإيجاد معامل
٥٣	انكسار السائل
٥٣	إيجاد موضع الصورة التي تحدث
٥٤	بالانكسار عند السطح المستوي
٥٤	تعيين موضع الصورة الحادثة عن
٥٥	الانكسار بطريقة عملية
٥٥	غلاف الأشعة المنكسرة
٥٦	موضع الصورة الحادثة إذا نظر إلى المرئي
٥٧	خلال لوح من مادة شفافة
٥٧	الانحراف الحادث عن الانكسار خلال
٥٨	المنشور الثلاثي
٥٨	النهاية الصغرى لزاوية الانحراف
٥٩	إيجاد النهاية الصغرى لزاوية الانحراف
٦٠	عملياً
٦٠	إثبات أن زاوية السقوط تساوي زاوية
٦٧	الخروج عند النهاية الصغرى للانحراف
٦٩	تقدير معامل انكسار مادة المنشور

٦٢	الصورة التي تحدث بالانكسار خلال
٦٣	المنشور عند ما يكون الانحراف عند
٨٠	نهاية الصغرى
٦٣	طنفوذ الشعاع الضوئي خلال منشور
٨١	ثلاثي
٦٤	تعدد الصور في المرآة السميكة
٦٤	الظواهر الجوية المألوفة التي لها علاقة

بموضوع الانكسار

٦٥	الانكسار الفلكي
٦٦	الفجر والشفق
٦٧	السراب
٦٨	السراب الممكوس
٦٩	ظاهرة مرجانة
٦٩	الانكسار عند السطوح الكرية وخلال
٧٠	العدسات الرقيقة
٧٠	الانكسار عند السطح الكروي المقعر
٧١	الانكسار عند السطح الكروي المحدب
٧٢	بؤرة السطح الكروي وبعده البؤري
٧٣	الانكسار خلال العدسة الكرية الرقيقة
٧٤	بؤرة العدسة وبعدها البؤري
٧٥	المركز البصري وخاصته الطبيعية
٧٦	إيجاد صورة نقطة مضيئة ليست على المحور
٧٧	إيجاد الصورة التي تتكون بواسطة
٧٨	العدسة المفرقة لجسم أمامها
٧٨	إيجاد الصورة التي تتكون بواسطة
٧٩	العدسة اللامة لجسم أمامها
٧٩	إيجاد نسبة طول الصورة إلى طول
٨٠	الجسم — التكبير
٨٠	الصور التي تتكون بواسطة العدسة
٨١	الرقيقة : مواضعها وصفاتها
٨١	رسم مسير الأشعة التي ترى العين بها
٨٢	صوره تحدث بواسطة عدسة
٨٢	الصور الحقيقية التي قد تتكون بالانعكاس
٨٢	عن سطح مرآة مستوية أو محدبة أو
٨٢	بفعل عدسة مفرقة

صفحة	بند
١٤٣	ذات السدس
١٤٤	مقياس المدى

الباب الخامس

التشتت والالوان

١٤٧	تجارب نيوتن في تشتت الضوء
١٤٩	الحصول على طيف تقي
١٥٠	السبكتروسكوب أو مبین
١٥١	الاطياف
١٥٣	كيفية اعداد السبكتروسكوب للاستعمال
١٥٨	اختبار الاطياف بواسطة
١٥٥	السبكتروسكوب
١٥٦	حدوث الالوان عن الامتصاص
١٥٨	الالوان الحادثة عن خلط الدهانات
١٥٨	الالوان الحادثة عن الانعكاس
١٥٩	معامل الامتصاص ومعامل الانفاذ
١١٣	تغير لون بعض الاجسام الشفافة بتغير السمك — ظاهرة اللون
١٦١	المزدوج
١٦٢	اختلاف الالوان بعضها عن الآخر
١٦٣	مزج الالوان
١٦٥	قياس زهو الالوان الطيفية البسيطة
١١٧	نظرية ينج وهلمهولتز في الاحساسات الثلاثة
١١٨	معادلات الالوان ومنحنيات
١٦٧	الاحساسات الاساسية الثلاثة
١٦٩	الالوان المتشابة
١٧٠	عمى الالوان
١٧١	التصوير الفوتوغرافي بالالوان
١٧٦	الطبع بالالوان
١٧٧	التلون — الظاهرة الفلورية
١٧٩	دراسة ظاهرة التلون عملياً
١٨٠	الوميض — الظاهرة الفسفورية
١٢٦	مقياس أجل الوميض —

صفحة	بند
١٠٢	القطعة المركبة من عدستين
١٠٧	متلاصقتين
٨٤	القطعة المركبة من عدستين منفصلتين
١٠٨	— العدسة المكافئة

الباب الرابع

العين وآلات الابصار المألوفة

٨٥	العين
٨٦	عمل العين وتكيفها
٨٧	العيوب الشائعة في العيون
٨٨	بعض الامور الهامة المرتبطة بالعين وبالبصائر : —
١٢٠	النقطة العمياء
١٢١	انبساط الأثر على الشبكية
١٢٢	استمرار تأثير الشبكية
١٢٢	كلل الشبكية
١٢٣	النظر بالعينين الاثنتين ومجسمات الصور
١٢٤	الزاوية الجليدية
٨٩	العدسة المكبرة ودرجة التكبير
٩٠	الميكروسكوب المركب ودرجة تكبيره
٩١	التلسكوب الفلكي ودرجة تكبيره
٩٢	ايحاء درجة تكبير كل من التلسكوب والميكروسكوب عملياً
٩٣	التلسكوب الارضى
٩٤	المنظار ذو المنشورين
٩٥	تلسكوب غاليلى
٩٦	تلسكوب نيوتن
٩٧	تلسكوبات جريجورى وكاسجران
٩٨	وهرشل
٩٩	البرسكوب أو منظار الفواصة
١٠٠	آلة التصوير الفوتوغرافي
١٠١	الفانوس السحري والابدياسكوب
١٠٢	الاقتالمسكوب أو جهاز فحص العين

الباب السابع

الزيف الكرى والزيف اللونى وقوس قزح
والعدسات السميكة

الزيف الكرى

١٤٥	الزيف الكرى الحادث عند الانعكاس
٢٢١	عن السطوح الكرية
١٤٦	الخطان البؤريان الحادثان بالانعكاس
٢٢٢	عند السطح الكرى
١٤٧	تعيين موضعى الخطين البؤريين للسطح
٢٢٤	الكبرى العاكس
١٤٨	قوس الصور المتكونة بالانعكاس
٢٢٦	عن المرايا الكرية
١٤٩	الخطان البؤريان للسطح الكرى
٢٢٨	الكاسر
١٥٠	قوس الصور الحادثة بوساطة العدسة
٢٢٩	وتشوهها
١٥١	تقليل أثر الزيف الكرى فى الصور
٢٣٢	التي تتكون بوساطة العدسة
١٥٢	تقليل أثر الزيف الكرى فى عينية
٢٣٢	الميكروسكوب والتلسكوب
٢٣٣	القطعة العينية لهيجنز
٢٣٦	القطعة العينية لمزدن
٢٣٨	السطح الذى لا زيف له
١٥٦	العدسة التي لا زيف لها واستعمالها فى
٢٣٩	شيتية الميكروسكوب

الزيف اللونى

١٥٧	شدة تشتت الضوء
١٥٨	المنشور الحارفى غير المشتت والمنشور
٢٤٢	المشتت غير الحارفى
١٥٩	الزيف اللونى فى العدسات

١٨١	الفسفورسكوب
١٢٧	تأثير تغير درجة الحرارة فى الوميض
١٨٣	اشعاع ما فوق البنفسجى
١٢٩	اشعاع ما دون الاحمر
١٣٠	الاجهزة الاولى التي استخدمت لبيان
١٨٥	الاشعاع الحرارى ودراسته
١٣١	تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع
١٨٧	الضوئى
١٩٠	انقاذ الاجسام للاشعاع الحرارى

الباب الثامن

تعيين الابعاد البؤرية للمرايا الكرية
وللعدسات الرقيقة وايجاد معامل انكسار
الضوء وقياس قوى الاضاءة

١٣٣	لوحة الأبصار
١٣٤	ايجاد البعد البؤرى للمرآة المقعرة
١٣٥	ايجاد البعد البؤرى للمرآة المحدبة
١٣٦	ايجاد البعد البؤرى للعدسة اللامة
١٣٧	ايجاد البعد البؤرى للعدسة المفرقة
١٣٨	ايجاد معامل انكسار مادة العدسة
١٣٩	ايجاد معامل انكسار السائل بتركيب
٢١٢	عدسة منه
١٤٠	ايجاد معامل الانكسار بوساطة
٢١٣	السبكترومتر
١٤١	طريقة أخرى لاعداد السبكترومتر
٢١٥	للاستعمال
١٤٢	ايجاد معامل الانكسار بوساطة
٢١٦	الميكروسكوب المتحرك
١٤٣	قياس قوة الاضاءة بوساطة الفوتومتر
٢١٨	الخافق
١٤٤	قياس قوة الاضاءة بوساطة فتومتر
٢١٩	لومر وبرودهان

صفحة	بند
٢٩٠	١٨٠ محصلة حركتين دوريتين بسيطتين
٢٩٠	١٨١ في اتجاهين متعامدين مدتها واحدة
٢٩٢	١٨٢ محصلة حركتين دوريتين بسيطتين في
٢٩٣	استقامة واحدة ومدتها واحدة .
٢٩٣	١٨٣ الطريقة الهندسية لايجاد المحصلة .
٢٩٥	١٨٤ محصلة عدة حركات دورية بسيطة
٢٩٥	ذات مدة واحدة وفي استقامة واحدة
٢٩٦	١٨٥ منحني الاهتزاز ودائرة الاهتزاز .
٢٩٨	١٨٥ تحليل الحركة الدورية البسيطة الى
٢٩٩	١٨٦ حركتين مستديرتين
٣٠٠	١٨٧ شرح أولى للحركة الموجية
٣٠١	١٨٨ معادلة الحركة الموجية البسيطة
٣٠٣	١٨٨ صدر الموجة والانعكاس
٣٠٣	١٨٩ سرعة الموجة العرضية على وتر
٣٠٥	١٩٠ مشدود
٣٠٧	١٩٠ سرعة الموجة العرضية في الوسط المرن
٣٠٨	١٩١ قاعدة هيجنز
٣٠٨	١٩٢ مبدأ النظرية الموجية في الضوء
٣٠٨	١٩٣ انعكاس الموجة المستوية عند السطح
٣١٠	المستوى
٣١١	١٩٤ انكسار الموجة المستوية عند السطح
٣١٢	المستوى
٣١٣	١٩٥ العقبة الاولى في سبيل النظرية الموجية
٣١٣	١٩٦ نظرية الدقائق في طبيعة الضوء
٣١٣	١٩٧ شرح الانعكاس طبقاً لنظرية الدقائق
٣١٥	١٩٨ شرح الانكسار طبقاً لنظرية الدقائق
٣١٥	١٩٩ انعكاس الموجة السكريدية عند السطح
٣١٥	المستوى
٣١٦	٢٠٠ انعكاس الموجة المستوية عند السطح
٣١٦	السكريد
٣١٨	٢٠١ انعكاس الموجة السكريدية عند السطح
٣٢١	السكريد
٣٢٥	٢٠٢ انكسار الموجة السكريدية عند السطح
٣٢٥	السكريد
٣٢٥	٢٠٣ قاعدة فرمات

صفحة	بند
٢٤٥	١٦٠ العدسة اللالونية
٢٤٦	١٦١ الزيج اللوني في القطعة العينية
	قوس قزح
٢٥٠	١٦٢ القوس الابتدائية
٢٥٤	١٦٣ القوس الثانوية
	العدسات السمكية
٢٥٦	١٦٤ النقطتان المفديتان
٢٥٧	١٦٥ ايجاد بعد المركز البصري عن سطحي
٢٥٧	العدسة
٢٥٩	١٦٦ ايجاد بعد كل من القطين العقديتين
٢٦١	عن سطحي العدسة
٢٦٤	١٦٧ ايجاد البعد البؤري للعدسة السمكية
٢٦٤	١٦٨ قانون العدسة السمكية
٢٦٨	١٦٩ ايجاد نسبة طول الصورة الى طول
٢٦٨	الجسم — تكبير العدسة السمكية
٢٧٠	١٧٠ ايجاد الصور التي تتكون بواسطة
٢٧٠	العدسة السمكية بطريقة الرسم
٢٧١	١٧١ ايجاد النقطتين العقديتين للعدسة عملياً
٢٧٣	١٧٢ النقطتان الرئيسيتان للعدسة السمكية

الباب الثامن

سرعة الضوء

٢٧٤	١٧٣ كشف السرعة المحدودة للضوء
٢٧٧	١٧٤ ظاهرة الزيج الضوئي
٢٨٢	١٧٥ طريقة فيزو لقياس سرعة الضوء
٢٧٩	١٧٦ طريقة فوكول لقياس سرعة الضوء
٢٨٥	١٧٧ سرعة الضوء في الماء
٢٨٦	١٧٨ تجارب ميكلسن في قياس سرعة الضوء

الباب التاسع

المبادئ الاساسية في النظرية الموجية

٢٨٧	٢٧٩ الحركة الدورية البسيطة
-----	--------------------------------------

صفحة	بند
٣٧٤	الأشعة المنعكسة والمنكسرة . . .
٣٧٦	التداخل التام في الأغشية الرقيقة . .
٣٧٧	هدب التداخل في الأغشية الرقيقة وألوان هذه الأغشية . . .
٣٨٠	حلقات نيوتن
٣٨١	تطبيق حلقات نيوتن لتعيين الطول الموجي
٣٨٣	الحصول على هدب عريضه
٣٨٦	تطبيق التداخل في الأغشية الرقيقة لاختبار استواء السطوح . . .
٣٨٨	التداخل في الألواح السمكية وهدب هايدنجر
٣٩٠	الموجات الضوئية المستقرة
٣٩٦	طريقة ليمان في التصوير الفوتوغرافي بالألوان
٣٩٢	مقاييس التداخل — مقياس چامن تطبيق مقياس چامن لتعيين معامل الانكسار لاسيما في الغازات . .
٣٩٤	تطبيق مقياس چامن لتعيين سمك أغشية الصابون
٣٩٦	مقياس ميكلسن
٣٩٧	كيفية اعداد مقياس ميكلسن للاستعمال أمثلة من التطبيقات العامة لمقياس ميكلسن . .
٤٠١	تطبيق مقياس ميكلسن لتحديد طول المتر
٤٠٣	تجربة ميكلسن ومورلي

الباب الحادي عشر

الحیود

٢٤٥	المناطق النصف الدورية
٢٤٦	الحاصل بفعل المناطق النصف الدورية تقدير اتساع الاهتزازة الحادثة في نقطة بفعل المناطق النصف الدورية

صفحة	بند
٢٠٤	استنباط قانون العدسة بتطبيق قاعدة فرمات
٢٢٧	الطاقة الضوئية وشدة الاستضاءه . . .
٢٣٠	وجه الاختلاف بين الاضواء ذات الالوان المختلفة طبقاً للنظرية الموجية
٢٣٢	نظرية الصلب المرن
٢٣٣	النظرية المغناطيسية الكهربائية . . .
٢٣٥	سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية بعض النتائج الهامة للنظرية المغناطيسية الكهربائية
٢٣٧	الكهربائية
٢٤٠	

الباب الثاني عشر

التداخل

٢١١	شرح معنى التداخل
٢١٢	تجربة ينج لبيان التداخل في الضوء — وهدب التداخل
٢١٣	تقدير البعد بين الهدبة والأخرى . . .
٢١٤	تجربة المرآة الثنائية
٢١٥	تجربة المنشور الثنائي
٢١٦	ايجاد الطول الموجي لضوء هب السوديوم بواسطة المنشور الثنائي . .
٢١٧	تجربة مرآة لويده
٢١٨	شرط التداخل — التلاؤم بين المصدرين المتداخلين
٢١٩	النقط المتقابلة من المصدرين المتداخلين وهدب التداخل في الضوء الأبيض . .
٢٢٠	الحصول على الهدب اللاونية
٢٢١	تحول الهدب عن مواضعها
٢٢٢	تحول الهدب الملونة عن مواضعها . . .
٢٢٣	تطبيق التداخل في الضوء الأبيض لقياس الازاحة الحادثة في الهدب . .
٢٢٤	التداخل في الأغشية الرقيقة
٢٢٥	أثر تعدد الانعكاسات الداخلية في التداخل في الأغشية الرقيقة . . .
٢٢٦	العلاقة بين اتساعات الاهتزازة في

صفحة	بند
٢٧١	استنباط الحالات التي تبلغ فيها شدة
٤٧٤	الاستضاءة نهايتها العظمى والصغرى
٢٧٢	تشقت الضوء بواسطة المحزوز .
٤٨١	الأطيايف المفقودة وأخيلة الاطيايف .
٢٧٣	شدة تحليل المحزوز للضوء .
٢٧٥	تطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد
٢٨٤	الطول الموجي
٢٧٦	طريقة أخرى لتطبيق محزوز الحيود
٤٨٦	المنفذ لايجاد الطول الموجي . .
٢٧٧	المحزوز المستوى العاكس . .
٢٧٨	المحزوز الكروي العاكس — شرح
٤٨٩	أولى لعمله
٢٧٩	طريقة رولند لاستعمال المحزوز المقعر
٤٩٢	العاكس
٢٨٠	الاشلون — الكتيبة المدرجة .
٢٨١	شدة تشتيت الاشلون وشدة تحليله
٤٩٧	للضوء
٢٨٢	عدد الاطيايف التي تتكون عادة بفعل
٤٩٩	الاشلون

الباب الثاني عشر

الاستقطاب الاستوائى والانكسار المزدوج

٢٨٣	معنى الاستقطاب الاستوائى . .
٢٨٤	الاستقطاب بالانعكاس . . .
٢٨٥	بولارسكوب نورنبرج . . .
٢٨٦	قانون بروستر
٢٨٧	تعيين اتجاه الاهتزازة في الضوء
٥١٠	المستقطب بالانعكاس
٢٨٨	مجموعة الألواح والاستقطاب بالانكسار
٢٨٩	قانون مالو
٢٩٠	الانكسار المزدوج
٢٩١	استقطاب الشعاعين وتحديد اتجاه
٥١٥	الاهتزازة في كل منهما . . .

صفحة	بند
٢٤٨	توضيح عمل المناطق النصف الدورية
٤٢٠	بالرسم
٢٤٩	تحقيق النتائج المتعلقة بالمناطق النصف
٤٢١	الدورية عملياً
٤٢٤	اللوحة ذو المناطق
٢٥١	اللوحة ذو المناطق يعمل عمل العدسة
٤٢٧	اللامعة
٢٥٢	الصفة المميزة للوحة ذي المناطق .
٢٥٣	تقسيم صدر الموجة شرائط متوازية
٢٥٤	الحيود عند الحرف المستقيم الحاد
٤٣٣	لحاجز معتم
٢٥٥	تطبيق هذب الحيود الحادثة عن
	الحرف المستقيم لحاجز معتم لقياس
٤٣٧	الطول الموجي
٢٥٦	الحيود عند حاجز ضيق
٢٥٧	الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة .
٢٥٨	تطبيق هذب الحيود عند الفتحة
٤٤٣	المستطيلة الضيقة لقياس الطول الموجي
٢٥٩	تكامل فرسئل وحزون كرنو . .
٢٦٠	الطريقة الهندسية لرسم حلزون كرنو
٢٦١	تطبيق حلزون كرنو لشرح ظواهر
٤٥١	فرسئل في الحيود
٢٦٢	(أولاً) الحيود عند الحرف المستقيم
٤٥٢	لحاجز
٢٦٣	(ثانياً) الحيود عند حاجز ضيق
٢٦٤	(ثالثاً) الحيود عند فتحة مستطيلة
٤٥٥	ضيقة
٢٦٥	ظواهر فرونهوفر في الحيود . .
٢٦٦	الحيود بفعل فتحة مستطيلة ضيقة —
٤٥٦	شرح أولى
٢٦٧	تطبيق منحني الاهتزازة لشرح الحيود
٤٦٠	بفعل الفتحة المستطيلة الضيقة . .
٢٦٨	الحيود بفعل فتحتين مستطيلتين
٤٦٤	ضيقتين متوازيتين متساويتين. شرح أولى
٢٦٩	محزوز الحيود وشرح عمله . .
٤٦٩	نظرية المحزوز

صفحة	بند
٥٤٩	٣١٢ احداث الاستقطاب الدائرى
.	والاستقطاب الاهليلجى . . .
٥٥٠	٣١٣ تقدير سمك الاوح الربيع الموجى .
٣١٤	اختبار الضوء المستقطب استقطاباً
٥٥١	دائرياً
٣١٥	اختبار الضوء المستقطب استقطاباً
٥٥٢	اهليلجياً
٣١٦	تعيين اتجاه الاهتزازة المستديرة فى
٥٥٣	الاستقطاب الدائرى
٥٥٦	٣١٧ معين فرسل
٥٥٧	٣١٨ مكافئ باينت
٣١٩	تطبيق مكافئ باينت فى دراسة
٥٥٩	الاستقطاب الاهليلجى
٣٢٠	التداخل فى الضوء المستقطب استقطاباً
٥٦٢	استوائياً
٥٦٦	٣٢١ ماهية الاهتزازة فى الضوء الطبيعى
٣٢٢	ألوان الالواح البلورية الرقيقة — حالة
٥٦٨	الاشعة المتوازية
٣٢٣	ألوان الالواح البلورية الرقيقة —
٥٧٣	حالة الأشعة الملمومة
٥٧٦	٣٢٤ دوران مستوى الاستقطاب
٥٧٧	٣٢٥ قوانين دوران مستوى الاستقطاب
٥٧٨	٣٢٦ تشتت مستوى الاستقطاب
٥٧٩	٣٢٧ نظرية فرسئل فى دوران مستوى
.	الاستقطاب
٥٨٠	٣٢٨ تحقيق نظرية فرسئل عملياً
٥٨١	٣٢٩ منشور كورنو
٥٨٣	٣٣٠ دوران مستوى الاستقطاب بفعل
.	السوائل والأبخرة
٥٨٤	٣٣١ الدوران النوعى والدوران الجزئى
٥٨٥	٣٣٢ مقياس السكر
٥٨٦	٣٣٣ مقياس لوران — المقياس ذو الالوح
.	النصف الموجى
٥٩٠	٣٣٤ المقياس ذو الكوارتز الثنائى
٥٩١	٥٣٥ ظاهرة فرداى — الدوران المغناطيسى
٥٩٣	٣٣٦ تعديل حدوث الدوران المغناطيسى

صفحة	بند
٢٩٢	نظرية هيجنز فى شرح الانكسار
٥١٧	المزدوج فى البلورات الاحادية المحور
٢٩٣	تطبيق نظرية هيجنز لرسم مسيرى
٥١٨	الشعاعين
٢٩٤	تطبيق نظرية هيجنز فى حالات خاصة
٥٢٠	٢٩٥ تجربة مالو
٥٢٢	٢٩٦ نظرية فرسئل فى الانكسار للمزدوج
.	فى البلورات الثنائية المحور —
٥٢٤	الفروض الاساسية
٥٢٦	٢٩٧ مقاطع سطح الموجة بالمستويات الرئيسية
٥٣٠	٢٩٨ السطح العام للموجة
٥٣٠	٢٩٩ المحوران الضوئيان — محوراً السرعة
٥٣٢	الموجة الواحدة
٥٣٣	٣٠٠ الانكسار المخروطى الداخلى
.	٣٠١ محور السرعة الشعاعية الواحدة —
٥٣٥	والانكسار المخروطى الخارجى
٥٣٦	٣٠٢ منشور نكل
٥٣٨	٣٠٣ منشور روشون
٥٣٩	٣٠٤ منشور وولاستون
٥٤١	٣٠٥ الاستقطاب الحادث بفعل النورمالين
٥٤١	٣٠٦ الضوء المستطير واستقطابه
٥٤١	٣٠٧ علاقة شدة الضوء المستطير بالطول
٥٤٣	الموجى
٥٤٤	٣٠٨ زرقة السماء والظواهر المرتبطة بها
٥٤٥	٣٠٩ تقليد زرقة السماء وحجرة الشروق
٥٤٥	والغروب بالتجربة
٥٤٦	٣١٠ المافوق انيكروسكوب

الباب الثامن عشر

الاستقطاب الدائرى والاستقطاب الاهليلجى والاستقطاب الدورانى

٣١١	الاستقطاب الدائرى والاستقطاب
٥٤٨	الاهليلجى

صفحة	بند
٦٤١	ظاهرة زيمن في الشمس
٦٤٢	ظاهرة شتارك
٦٤٣	المتتاليات الطيفية
٦٤٦	النشئت الشاذ وقانون كوندت
٦٩٤	بيان النشئت الشاذ عمليا
٦٤٩	النظرية الالكترونية في النشئت
٤١٦	ايجاد معامل العازل وفقا للنظرية
٦٥٠	الالكترونية
٤١٧	ايجاد معامل انكسار الضوء وفقا
٦٥٢	لنظرية الالكترونية
٦٥٥	شرح النشئت
٤١٨	الانعكاس والانكسار المقرونان
٤١٩	بالنشئت الشاذ
٦٥٨	معادلة كوشي وسلمير في النشئت
٦٥٩	٤٢٠

الباب الخامس عشر

قوانين الاشعاع

٤٢١	العلاقة بين امتصاص الأجسام
٦٦٢	وابتعاثها وعكسها الاشعاع
٤٢٢	شدة الامتصاص وشدة الانبعاث :
٦٦٤	نجربة راتشى
٦٦٦	نظرية التبادل
٦٦٨	قانون كرتشهوف
٦٧٠	أمثلة من تطبيقات قانون كرتشهوف
٤٢٦	الجسم التام الانبعاث التام الامتصاص :
٦٧١	الجسم الاسود التام السواد
٦٧٢	قانون ستيفان
٦٧٣	الضغط الضوئي وبيانه عمليا
٤٢٩	تعريفات : شدة الاشعاع والاشعاع الكلى
٦٧٧	وكثافة الطاقة
٦٨٠	اثبات قانون ستيفان ببرهان نظري
٤٣٨	علاقة الحجم بدرجة الحرارة في التغيرات
٦٥٦	الناجمة الحرارة
٤٣٢	استنباط العلاقة بين الطول الموجي للاشعاع
٦٨٦	ودرجة الحرارة — قانون فين

صفحة	بند
٥٩٤	ظاهرتا كرى
٣٣٨	الانكسار المزدوج الحادث عن
٥٩٦	الانفعال

الباب الرابع عشر

التحليل الطيفي ونظرية النشئت

٣٨٩	طرق الحصول على أطيايف الاشعاع
٣٩٠	ضروب أطيايف الاشعاع
٣٩١	معايرة السبكترومتر لقياس الأطوال
٦٠٤	الموجية
٣٩٢	سبكترومتر الطول الموجي
٣٩٣	كيفية دراسة الامتصاص عمليا
٣٩٤	ضروب أطيايف الامتصاص
٣٩٥	طيف امتصاص بخار الصوديوم
٣٩٦	طيف امتصاص الايدروجين
٣٩٧	خطوط فرونهوفر في الطيف الشمسي
٣٩٨	سبكتروسكوب ما فوق البنفسجي
٣٩٩	طيف ما فوق البنفسجي
٤٠٠	الأجهزة الدقيقة لبيان اشعاع مادون
٦١٨	الاحمر
٤٠١	سبكترومتر ما دون الأحمر
٤٠٢	طريقة روبنز لقياس الطول الموجي
٦٢٤	لفضالة الاشعاع
٤٠٣	ظاهرة دبلر
٦٢٨	حدود ظاهرة دبلر في الضوء
٨٢٩	ظاهرة شتارك — دبلر
٦٣٠	ظاهرة زيمن
٤٠٧	تطبيق النظرية الالكترونية لشرح
٦٣٢	ظاهرة زيمن في أبسط حالاتها
٣٠٨	استنباط قيمة نسبة شحنة الالكترون
٦٣٥	الى كتلته من ظاهرة زيمن
٨٠٩	ظاهرة زيمن في خطوط الامتصاص
٦٣٩	الظاهرة المعكوسة

صفحة	بند	صفحة	بند
٨٩٩	٤٣٨ تطبيق قوانين الاشعاع لقياس درجة الحرارة	٦٨٩	٤٣٣ العلاقة بين طاقة اشعاع ذى طول موجى معين ودرجة الحرارة
٦٠٠	٤٣٩ الثابت الشمسى وتعيين قيمته	٦٩٢	٤٣٤ تجارب لومر وبرنجشهايم
٧٠٢	٤٤٠ تصحيح الخطأ الناجم عن الامتصاص بفعل الهواء	٦٩٥	٤٣٥ معادلات توزع الطاقة فى الطيف
٨٠٥	٤٤١ تعيين درجة حرارة الشمس	٦٩٧	٤٣٦ نظرية السكم
		٦٩٨	٤٣٧ قيمات المعادير الثابتة فى قوانين الاشعاع

مداول تشمل بمضمون الثوابت الطبيعية الخاصة بالضوء

٧١٢	فرونهوفر الرئيسية فى الطيف الشمسى	جدول (١) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم (بالنسبة الى الهواء) فى بعض المواد المألوفة	
٧١٣	جدول (٦) : معامل انكسار بعض الاطوال الموجية الهامة فى المواد المألوفة	٧٠٨	جدول (٢) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى بعض الغازات والابخرة
٧١٤	جدول (٧) : الدوران النوعى لبعض المواد المألوفة فى درجة ٢٠ مئوية	٧٠٨	جدول (٣) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى الأنواع المختلفة من الزجاج
٧١٤	جدول (٨) : دوران مستوى الاستقطاب بفعل الكوارتز فى درجة ٢٠ مئوية	٧٠٩	جدول (٤) : الأطوال الموجية للخطوط الطيفية الهامة لبعض المواد المألوفة
٧١٤	جدول (٩) : الدوران المغناطيسى لبعض المواد المألوفة	٧١٠	جدول (٥) : الأطوال الموجية للخطوط

مخرينات

٧٣٠	الباب الثامن	٧١٨	الباب الأول
٧٣١	» التاسع	٧١٩	» الثانى
٧٣٢	» العاشر	٧٢٢	» الثالث
٧٣٤	» الحادى عشر	٧٢٧	» الرابع
٧٣٥	» الثانى عشر	٧٢٩	» الخامس
٧٣٦	» الثالث عشر		» السادس
		٧٢٩	» السابع

٧٣٨	جدول اصلاح الخطأ	٧٣٧	مراجع الكتاب
-----	----------------------------	-----	------------------------

ماحق

بالمصطلحات الانكليزية الرهامة ومعانيها العربية الواردة في الكتاب

Aberration of light.	الزيف الضوئى	Axis, optical,	المحور الضوئى
„ , chromatic,	الزيف اللونى	Bench, optical,	لوحة الابصار
الزيف الكرى الطولى		Biaxal crystal.	بلورة ثنائية المحور
„ , longitudinal spherical,		Biprism.	منشور ثنائى
الزيف الكرى العرضى		Black radiator, perfect,	الاسود تام الاشعاع
„ , latetal Spherical,		Bolometer	البولومتر
Absorption, selective,	الامتصاص الخاص	Bimirror.	مرآة ثنائية
معامل الامتصاص		Biquartz.	كوارتز ثنائى
„ , coefficient of,		Candle, standard,	الشمعة العيارية
Accommodation.	التكيف	النقطتان الاساسيتان لعدسة	
Achromatic lens.	عدسة لالونية	Cardinal points of Lens.	
Amplitude.	الانساع (أو السعة)	Caustic curve.	الغلاف
Analyser.	محلل	Chromosphere	الكرة اللونية
النهاية الصغرى لزاوية الانحراف		دائرة الغمة الصغرى	
Angle of minimum deviation.		Circle of least Confusion.	
„ , critical,	الزاوية الحرجة	„ „ reference.	دائرة الاسناد
Antinode.	بطن	Collimator.	مجمع
Aplanatic lens.	عدسة لازيف لها	Colour, body,	لون الجرم
السائل (أو الرطوبة) المائية		„ surface,	لون السطح
Aqueous humour.		Colours, complimentary,	ألوان متتامة
Astigmatic pencil.	حزمة لانقطية	„ primary	ألوان أساسية
Astigmatism.	اللانقطية	Compensator.	مكافى
Axis of lens.	محور العدسة	Cornea.	القرنية
محور السرعة الشعاعية الواحدة			
„ „ single ray velocity.			
محور السرعة الموجية الواحدة			
„ „ single wave velocity.			
„ , crystalline.	المحور البلورى		

Daltonism.	الدالتونية
Deviation.	انحراف
Dextrogyrate.	ايمن
Diathermanous.	منفذ للاشعاع الحرارى
Dichromatism.	ظاهرة اللون المزدوج
Dielectric.	عازل
Diffraction.	حيود
Diffused Light.	ضوء منتشر
Disc, optical,	قرص ضوئى
Dispersion.	تشتت
Dispersion of the angle of polarisation.	تشتت زاوية الاستقطاب
Dispersion of the Plane of polarisation.	تشتت مستوى الاستقطاب
Dispersive power.	شدة التشتت
Displacement	ازاحة
Distortion of image.	تشوه الصورة
Echelon.	الكتيبة المدرجة - اشلون
Eclipse, annular,	كسوف حلقى
„ , partial,	كسوف جزئى
„ , total,	كسوف كلى
Elasticity.	مرونة
Electron.	الكترون
Effect, Doppler	ظاهرة دبلر

Effect, Faraday	ظاهرة فرداى
„ , gas,	الفعل الغازى
„ , Kerr	ظاهرة كر
„ , Stark,	ظاهرة شتارك
„ , Stark — Doppler	ظاهرة شتارك — دبلر
„ , Zeeman,	ظاهرة زيمان
	مدور القطع الناقص
Ellipsoid of revolution.	
Epidiascope.	ابداياسكوب
Ether.	الاثير
Fata Morgana,	ظاهرة مرجانة
Fatigue.	كلل
Filters, colour,	مرشحات ضوئية
	اللون — الظاهرة الفلورية
Fluorescence.	
Focal length.	البعد البؤرى
„ line.	الخط البؤرى
Foci of lens.	بؤرتا العدسة
„ aplanatic,	بؤرتان لازيغ فيهما
Frequency.	تردد
Fringes.	هدب
Fringes, achromatic,	هدب لالونية
„ coloured,	هدب ملونة
„ diffraction,	هدب الحيود
„ interference,	هدب تداخل

تحول الهدب عن مواضعها
Fringes, displacement of,

Grating محزوز
" , concave, » مقعر
" , diffraction, » حيود
" , reflecting, » عاكس
" , transmitting, » منفذ

Hypermetropia. طول النظر

Iceland spar. سبات اسلندا
شدة الاستضاءة

Illumination, intensity of,

Image, real, صورة حقيقية
" , virtual, صورة تقديرية

Incidence. سقوط

Interference, تداخل

Interferometer. مقياس التداخل
قانون الترييع العكسي

Inverse square law.

Inversion, lateral, انقلاب جانبي

Iris. الحدقة - القرنية

Irradiation. انبساط الأثر

المنحنيات ذات اللون الواحد

Isochromatic curves.

أدنى مدى الرؤية الجلية

Least distance of distinct vision.

Lens, achromatic, عدسة لا لونية

" , biconcave » مقعرة الوجهين

" , biconvex, » محدبة الوجهين

" , convergent, » لامة

" , crystalline, » جليدية أو بلورية

" , divergent, » عدسة مفرقة

" , equivalent, » عدسة مكافئة

" , erecting, » عاذلة

" , eye, » العين

" , field, » المجال

Levogyrate. ايسر

Luminosity. الزهو

Magic lantern. فانوس سحرى

Magnification. التكبير

Magnifying power. درجة التكبير

وسط متجانس الاجزاء

Medium, homogeneous,

وسط متشابه الخواص فى جميع الاتجاهات

Medium, isotropic,

Microscope. ميكروسكوب

ضوء ذو لون واحد

Monochromatic light.

Myopia. قصر النظر

• Nodal points. النقطتان العقديتان

Nodes. العقد

Opaque. معتم

جهاز فحص العين - أفتالموسكوب

Ophthalmoscope.

المادة ذات الفعل الضوئي - الفعالة

Optically active substance.

طريقة انطباق المواضع

Parallax, method of

Penumbra. شبه الظل

Period. الدور - المدة

Periodic motion. حركة دورية

Permeability. قبول الانفاذ المغناطيسي

Phase. الطور

الوميض - الظاهرة الفسفورية

Phosphorescence.

مقياس أجل الوميض - الفسفورسكوب

Phosphoroscope.

Photosphere. الكرة الضوئية

Photometer, flicker, الفتومتر الخافق

Pile of Plates. مجموعة ألواح

آلة التصوير ذات الثقب

Pin-hole camera.

Plate, quarter-wave, لوح ربع موجي

Polariscope. بولارسكوب

الاستقطاب بالانعكاس

Polarisation by reflection.

الاستقطاب بالانكسار

„ by refraction.

„ of light. استقطاب الضوء

„ , angle of, زاوية استقطاب

مستوى الاستقطاب

„ , plane of,

الاستقطاب الدائري

„ , circular,

الاستقطاب الاهليلجي

„ , elliptic,

„ , partial. الاستقطاب الجزئي

„ , rotary, الاستقطاب الدوراني

Polariser. المستقطب

Pole. القطب

Principal plane. المستوى الرئيسي

قاعدة أقصر الاوقات

Principle of least time.

Process, additive, طريقة الضم

Process, subtractive, طريقة التفريق

المنشور ذو الانحراف الثابت

Prism, constant deviation,

Pupil. انسان العين

Purity. الصفاء

Radiation, full, الاشعاع التام

Radiation, pressure of, ضغط الاشعاع
اشعاع مادون الاحمر

Radiations, infra - red,
اشعاع ما فوق البنفسجي
" ultra - violet.

Radiometer. مقياس الاشعاع — الرديومتر
الفعل الاشعاعي (أو الغازي)

Radiometric (or gas) action.
المقياس الدقيق للاشعاع — الرديوميكرومتر

Radiomicrometer.

Rain-bow, primary, قوس قزح الابتدائية
" " secondary, قوس قزح الثانوية

Range-finder مقياس المدى

Ray, extraordinary, شعاع غير معتاد
" ordinary. شعاع معتاد
انتشار الضوء في خطوط مستقيمة

Rectilinear propagation of light.

Reflection, multiple, الانعكاس المتعدد
" , selective, الانعكاس الخاص
" , total, الانعكاس الكلي

Refraction, index of, معامل الانكسار
الانكسار الفلكي

" , astronomical,

" , double, الانكسار المزدوج

الانكسار المخروطي الخارجي

" , external conical.

الانكسار المخروطي الداخلي

" , internal conical,

Residual rays. فضالة الاشعة

Resolving power. شدة التحليل

Resonance. الرنين

Retina. الشبكية

قاعدة قبول العكس

Reversibility, principle of,

Rigidity. المتانة

Rings, Newton's حلقات نيوتن
دوران مستوي الاستقطاب

Rotation of plane of polarisation.

" , magnetic, الدوران المغناطيسي

" , molecular, الدوران الجزيئي

" , specific, الدوران النوعي

Saccharimeter. مقياس السكر

Scattering of light. استطارة الضوء

Sclerotic. الصلبة

Series, principal, المتتالية الرئيسية

المتتالية الاضافية الاولى أو غير الدقيقة

Series, first subordinate or diffuse,

المتتالية الاضافية الثانية أو الدقيقة

Series, second subordinate or sharp

Sextant. ذات السدس

Spectrograph. مصور الاطياف

سبكترومتر الطول الموجي

Spectrometer, wave length,

معايرة السبكترومتر

" , calibration of,

مبين الأطياف — سبكتروسكوب	
Spectroscope.	
Spectrum, absent,	الطيف المفقود
	طيف الامتصاص
„ , absorption,	طيف شريطي
„ , band or fluted,	
„ , ghost,	خيال طيفي
„ , line,	طيف خطي
„ , normal,	طيف عياري
„ , solar,	طيف شمسي
Spot, blind,	النقطة العمياء
„ yellow,	النقطة الصفراء
Spots, solar,	كلف الشمس
Spiral, Cornu,	حلزون كورنو
Stereoscopes.	مجسمات الصور
Strain.	انفعال
Stress.	اجهاد
Telescope.	التلسكوب
Tint of passage.	النقبة المحسوسة
Theory of exchange.	نظريه التبادل
„ „ relativity.	» الاضافة
„ „ corpuscular,	» الدقائق
	نظرية الصلب المرن
„ , elastic solid,	
	النظرية المغناطيسية الكهربائية
„ , electro-magnetic,	

Theory, electron,	النظرية الالكترونية
„ , wave,	» الموجية
„ , quantum,	نظرية الكم
Thermo-electricity,	الكهربائية الحرارية
Thermopile.	الترموپيل
	ترمو سكوت هوائى فرق
Thermoscope, differential air,	
	معامل الانفاذ
Transmission, coefficient of,	
Ultra-microscope	لما فوق الميكروسكوب
Umbra.	الظل
Uniaxal crystal.	بلورة أحادية المحور
Velocity, ray,	سرعة شعاعية
Velocity, wave,	سرعة موجية
Vibration curve.	منحنى الاهتزازة
„ , forced,	اهتزازة قسرية
„ , natural,	اهتزازة طبيعية
	الزاوية الجليدية — زاوية الرؤية
Vision, angle of	
	استمرار التأثير أو الرؤية
„ „ persistance of	
	الرطوبة الزجاجية (السائل الزجاجي)
Vitreous humour	
Wave front.	صدر الموجة
„ length.	الطول الموجي

Wave motion.

حركة موجية

Wave transverse,

موجة عرضية

„ surface.

سطح الموجة

Wavelet.

موجة

„ , cylindrical,

موجة اسطوانية

„ , longitudinal,

» طولية

Zone-plate.

لوح ذو مناطق

„ , plane,

» مستوية

مناطق نصف دورية

„ , spherical,

» كرية

Zones, half-period

