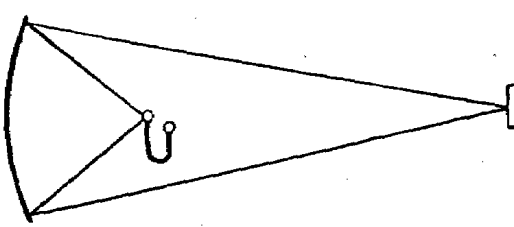
# الباب الخامس عشر

## 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 »[1] 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 ملىء المكعب ماء ساخناً فى درجة معينة من الحرارة ابتعثت جوانبه الرأسية اشعاعاً تتوقف شدته ويتوقف نوعه على نوع المادة . ويعرف المكعب « بمكعب لزلى » . وتتلخص طريقة لزلى فى هذه التجارب فى أن يضع المكعب بحيث يكون أحد جوانبه الرأسية ( أنظر 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 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



( شكل ٣٢٩ )

(١) Leslie

الفرق فى هـذه التجارب جهاز اخر يصلح للاستدلال على الاشعاع الحرارى كالترموبيل مثلا وقد أعاد كثيرون تجارب لزلى منهم «ملونى»(١) و «دلابروفوستاى»(٢) و«دسين»(٣) وبينت تجارب الأخيرين أن أشد الاجسام ابتعاثاً للاشعاع هو السناج . واذا قوبلت المواد الأخرى به كان ابتعاث الحبر الاسود مثلا 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 فاذا أخذ لوح من البلاتين وكسى أحد وجهيه بالسناج والآخر بالمادة المراد مقابلتها به ووضع على كل من جانبي اللوح ترموبيل موصل بجلفانومتر وسخن اللوح بوساطة التيار الكهربائى فان النسبة بين انحرافى الجلفانومترين لا تظل ثابتة فى جميع درجات الحرارة

وأجرى « لزلى » 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 نظرا لأن الترموسكوب تستقر دلالته ، عند ما يكون معدل ما تمتصه المادة المكسو بها 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 ابتدءا فيها أولا بايجاد معدل برودة ترمومتر مكسو منتفخة بالمادة المراد اختبارها ، فى درجات مختلفة من الحرارة . فاذا 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

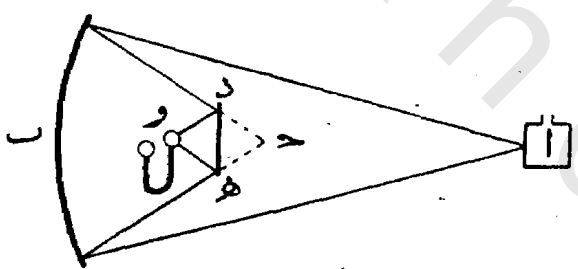
وقد دلت التجارب على أن المواد الشديدة الابتعاث شديدة الامتصاص ، ودلت أيضاً على أن امتصاص المادة الواحدة للاشعاع يختلف باختلاف مصدر هذا الاشعاع . فاذا اعتبرنا اختلاف الاشعاع الصادر من المصادر المختلفة هو اختلاف فى الطول الموجى أو بالاحرى فى نسبة ما هو

---

(١) Melloni (٢) De la Provostaye (٣) Desains

موجود فيه من الاشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة فان هذه النتائج تدل على أن الجسم المعين قد يمتص اشعاعاً ذا طول موجى معين بمقدار يختلف عن مقدار ما يمتصه من اشعاع ذى طول موجى آخر . وهذا يتفق وما هو معروف فى الاشعاع الضوئى . فالجسم الأحمر مثلا اذا وقع عليه اشعاع ضوئى نسبة ماهو 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 للمقابلة بين ماينعكس عن سطوح المواد المختلفة من الاشعاع . وطريقته فى ذلك كالمبينة فى شكل (٣٣٠) حيث اتخذ كمصدر للاشعاع مكعباً ا من مكعباته ، وجعله فى البؤرة البعيدة لمرآة ب من المعدن سطحها مدور القطع الناقص . وجعل بين هذه المرآة وبين البؤرة القريبة منها لوحا د ه من المادة المراد اختبارها ، وجعل عند و ( وهى نقطة على امتداد العمود الواقع من ح على د ه وعلى بعد من د ه يساوى بعد ح عنه) منتفخ الترموسكوب ، فالاشعاع الصادر من المصدر ا والواقع على المرآة ب ينعكس نحو اللوح د ه ثم ينعكس عنه ملوماً عند منتفخ الترموسكوت ، فاذا كان هذا اللوح شديد العكس للاشعاع كانت دلالة الترموسكوب مرتفعة ، والعكس بالعكس . وقد دلت التجارب التى من هذا القبيل على أن السطوح المعدنية المصقولة ، التى هى ضعيفة الابتعاث وضعيفة الامتصاص للاشعاع هى شديدة العكس له



( شكل ٣٣٠ )

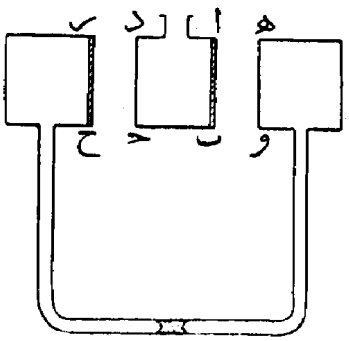
## ٤٢٢ — شدة الامتصاص وشدة الابتعاث : تجربة رتشى

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

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

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

ويمكن بيان العلاقة بين شدة الامتصاص وبين شدة الابتعاث بتجربة بسيطة تعرف بتجربة « رتشى » [1] . وجهازها يتركب كما بشكل (٣٣١) من مكعب لزلى ا ب حـ د موضوع فى منتصف المسافة بين مكعبين أجوفين من المعدن متصلين بانبوبة ذات شعبتين كالمبين بالشكل فى الجزء الأفقى منها قطره من سائل . فيعمل المكعبان والانبوبة عمل ترموسكوب فرقى . وأحد السطحين الجانبين من مكعب لزلى وليكن ا ب مثلا ، مكسو بطبقة من السناج ، والسطح المقابل له وهو حـ د مكسو بطبقة من المادة المراد اختبارها ، والسطح هـ و المواجه للاول فى أحد المكعبين مكسو بطبقة من المادة المذكورة ، والسطح المواجه للسطح حـ د فى المكعب الثانى ، أى السطح رح مكسو بطبقة من السناج . والتجربة تدل على أنه اذا ملىء المكعب ا ب حـ د ماء ساخن ، فان القطرة فى الانبوبة الافقية لا تتحرك ، دالا ذلك على أن ما يمتصه السطح الاسود رح من الاشعاع المنبعث من السطح حـ د مساو ما يمتصه السطح هـ و من الاشعاع المنبعث من السطح الاسود ا ب



( شكل ٣٣١ )

فاذا رمزنا لكمية (أو طاقة) الاشعاع المنبعث فى حدة الزمن من السطح ا ب المكسو بالسناج بالحرف ا ورمزنا لشدة امتصاص مادة السطح هـ و بالحرف م . فان كمية الاشعاع الذى يمتصه هذا السطح فى وحدة الزمن تكون مساوية ا م

---

(١) Richie

كذلك اذا رمزنا بالحرف ـ لكمية الاشعاع المنبعث فى وحدة الزمن من السطح حـ د وهو المكسو بالمادة المراد اختبارها ، فنظراً لأن السطح رح من السناج وباعتبار أن شدة امتصاصه الواحد فان كمية الاشعاع الذى يمتصه السطح رح فى وحدة الزمن تكون مساوية ـ

$$\text{واذن } ـ = ا \, ص$$

$$\therefore \quad ص = \frac{ـ}{ا}$$

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 فى باطن غلاف آخر فى درجة ثابتة من الحرارة استمر فى الابتعاث أو الامتصاص حتى يحصل التعادل بينه وبين المحيط وعند حدوث التعادل الحرارى بين الجسم وبين المحيط فان الجسم لا ينقطع عن الابتعاث أو الامتصاص وانما يبتعث بقدر ما يمتص فتبقى درجة حرارته ثابتة ويظل فى حالة تعادل حرارى مع المحيط

هذه النظرية التى تقرر استمرار حدوث الابتعاث والامتصاص عند التعادل الحرارى ، كان « برفوست » (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 فى حالة تعادل حرارى .

ومن أخطر نتائج هـذه النظرية أن الاشعاع فى باطن غلاف غير منفذ وفى درجة ثابتة من الحرارة ذو قدر ثابت ومن نوع ثابت فى جميع النقط الموجودة فى الداخل ، ولا يختلف باختلاف جدران الغلاف ولا باختلاف شكله ، ولا يتوقف الا على درجة الحرارة . ولايضاح هذه النتيجة

---

(١) Prevost (٢) Theory of Exchange

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

واذن الاشعاع فى باطن غلاف جدرانه فى درجة من الحرارة منتظمة ثابتة ، يكون واحداً فى الـكم والـكيف ، ولا يتوقف الا على درجة الحرارة

ويسمى أحياناً الاشعاع فى باطن غلاف فى درجة منتظمة ثابتة من الحرارة « اشعاع الجسم الأسود التام السواد[1] » باعتبار أن الجسم الأسود تام الابتعاث تام الامتصاص للاشعاع ، لأنه اذا وضع الجسم الأسود فى باطن الغلاف وصار الجسم فى حالة تعادل مع الغلاف واعتبرنا شدة الامتصاص الواحد ، فالتعادل يتطلب أن يكون الاشعاع الواقع على الجسم الأسود مساوياً كما وكيفا الاشعاع المنبعث منه فى تلك الدرجة

ومن المعروف أن السناج وهو أشد الأجسام المعروفة حلـكة وسواداً لا يمتص كل الاشعاع الواقع عليه ، بل يعكس أو ينثر جزءاً منه ، فاذا وضع فى باطن غلاف وصار فى حالة تعادل حرارى معه ، فان الاشعاع المنبعث منـه يعادل الذى يمتصه فحسب . وهـذا جزء من الاشعاع

---

(١) Radiations of a perfectly black body

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

## ٤٢٤ — قانون كرتشهوف

الاشعاع المنبعث من جسم معين فى درجة معينة من الحرارة ليس جميعه من نوع واحد بل يتكون من أنواع مختلفة ذات أطوال موجية مختلفة . فاذا راعينا اشعاعاً معيناً ذا طول موجى معين فان كمية هذا الاشعاع المنبعث من الجسم فى الدرجة المعينة يكون لها قدر معين يختلف عن قدر ما ينبعث من الجسم نفسه فى درجة الحرارة نفسها من اشعاع آخر ذى طول موجى آخر اذن تكون شدة ابتعاث الجسم فى 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 فى درجة معينة من الحرارة لاشعاع ذى طول موجى معين ، مساوية شدة ابتعاثه وهو فى تلك الدرجة لهذا الاشعاع . ويمكن اعتبار تجربة « رتشى » مؤيدة لهذا القانون لولا أن الاشعاع فى 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

فاذا فرضنا أن جسما فى حالة تعادل حرارى فى باطن غلاف فى درجة معينة من الحرارة ، ورمزنا لشدة امتصاص الجسم لاشعاع ذى طول موجى معين بالحرف م ، ولطاقة الاشعاع الذى من هذا النوع والذى ينبعث من وحدة سطوحه فى وحدة الزمن وهو فى تلك الدرجة بالحرف ا ، ورمزنا لطاقة الاشعاع الذى من هذا النوع والذى يقع على وحدة سطوحه فى وحدة الزمن من

---

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

(٢) Full Radiation

الاشعاع التام الموجود داخل الغلاف بالحرف ك ، كانت الطاقة التى تمتصها وحدة المساحة من سطح الجسم فى وحدة الزمن من الاشعاع المذكور هى

م ك

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

م ك = ١

واذا استبدل بهذا الجسم جسم أسود تام السواد شدة امتصاصه الواحد ، ورمز بالطاقة الاشعاع الذى من النوع المذكور و ينبعث من وحدة المساحة من سطح الجسم الأسود فى وحدة الزمن بالحرف ـ فنظراً لأن هذا الجسم يمتص كل ما يقع عليه من الاشعاع ، فان ما تمتصه وحدة المساحة من سطحه فى وحدة الزمن يساوى ك ، وعلى حسب نظرية التبادل يكون

ك = ـ

واذن م = $\frac{١}{ك}$ = $\frac{١}{ـ}$

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

وكذلك ينتج أن

ـ = $\frac{١}{م}$

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

## ٤٢٥ — أمثلة من تطبيقات قانون كرتشهوف

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

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

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

وقد ذكر « وود » [1] أن اكسيدات « الاربيوم » و « الديدميوم » اذا سخنت الى درجة الابيضاض ، ترى فى طيفها المتصل شرائط مضيئة . 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 متصلا . وقد وجدت الشرائط المذكورة منطبقة بالتقريب على مواضع الشرائط المظلمة فى أطياف امتصاص هذه المواد . دالا ذلك على انقيادها

---

(١) فى كتابه Physical Optics

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

$$\frac{ب}{ر} = ب$$

التى 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»[1] 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 دليلا 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 وأشدها ابتعاثاً له فانه لا يمتص كل الاشعاع الواقع عليه ، بل يعكس أو ينثر جانباً منه . فهو قاصر عن أن يكون

---

(١) Paschen

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 يجعل 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 مقام الجسم التام الامتصاص ، لان الاشعاع الواقع عليها من الخارج أياً كان نوعه وأياً كان مقداره ، ينفذ الى داخل الغلاف ، فيعانى فى الداخل انعكاساً أو انتثاراً ويكون 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 الاسود 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

---

(١) Stefan

الى هـذا القانون بنتيجة لتجربة أجراها « تندال » قابل فيهـا بين الطاقة المنبعثة من سلك من البلاتين فى درجتين مختلفتين من الحرارة ، فرأى ستيفان أن النسبة بين الطاقتين كالنسبة بين الدرجتين المطلقتين مرفوعتين الى الأس الرابع . وكان قـد أجرى « دولنج » و « بتى » (١) تجارب تتلخص فى ايجاد معدل برودة ترمومتر زئبقى ذى مستودع كبير كانا يسخنانه الى ما يقرب من درجة ٣٠٠ مئوية ، ويضعانه فى باطن اناء كرى من النحاس محفوظ فى درجة ثابتـة من من الحرارة . فدرس ستيفان نتائج هذه التجارب علها تكون متفقة والقانون المذكور فوجدها كذلك

وان كان قد اتضح من بعـد كشف قانون ستيفان أن تجربة تندال التى كانت السبب فى كشفه ، مشكوك فى 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 انبنى عليه تطبيق قواعد علم الديناميكا الحرارية لاثبات القانون نظرياً فيما يتعلق بالاشعاع التام ، وسنبين ذلك فيما يأتى

## ٤٢٨ — الضغط الضوئى وبيانه عملياً

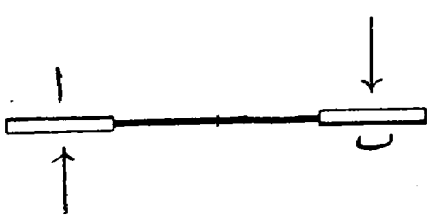
من نتائج النظرية المغناطيسية الكهربائية التى وضعها « مكسول » أن للضوء أو للاشعاع الذى ماهيته كماهية الضوء ضغطاً يعانيه السطح الواقع عليـه الضوء أو الواقع عليه الاسعاع نسميه « السطح الضوئى » أو « الضغط الاشعاعى (٢) وان قوة الضغط التى تؤثر فى وحدة المساحات من الضغط تساوى عددا كمية الطاقة الحالة فى وحدة الحجوم من الوسط . فاذا كان السطح الواقع عليـه الضوء مثلا سطحاً عاكساً عكساً تاماً كان مقدار الضغط الواقع عليه ضعف ما اذا كان سطحاً أسود تام السواد يمتص امتصاصاً تاماً . ولم تكن فى الوقت الذى وضعت فيه النظرية أدلة عمليـة تبين حقيقة وجود هـذا الضغط . فأجريت بحوث عمليـة تتلخص فى تهيئة صفيحة

(١) Dulong and Petit (٢) Radiation Pressure

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

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

واجرى « نكلز » (٣) و « هل » (٤) تجارب فى هذا الموضوع كانت ادق واوسع نطاقاً من تجارب « لبدف » فاتخذا قرصين صغيرين من الزجاج الرقيق جداً جعلاهما فى نهايتى ساق خفيفة (شكل ٣٣٢) معلقة بسلك دقيق من الكوارتز فى اناء كان يفرغ من الهواء على حسب الارادة ، وجعلا احد وجهى كل من القرصين مفضضاً ، والوجه المفضض لاحدهما متجهاً فى الاتجاه المضاد لاتجاه الوجه المفضض للآخر ، وجعلا الاشعة الضوئية الواقعة على القرصين تنفذ خلال عدسات والواح من الزجاج حتى تتجرد قبل وقوعها على القرصين من الاشعاع الذى يمتصه الزجاج فاذا فرضنا لسهولة الشرح ان القرصين هما ا ، ب ( شكل ٣٣٢ ) وان السطح المفضض للاول متجه الى اعلى ، والثانى متجه



( شكل ٣٣٢ )

(١) Crookes (٢) Lebedew (٣) Nichols (٤) Hull

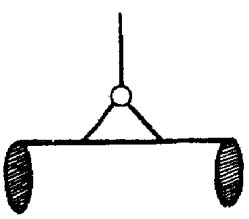
الى أسفل ووقع الضوء عليهما كما هو مبين بالسهمين فان الضغط الضوئى يعمل فى ادارة القرصين فى اتجاه حركة عقربى الساعة ، ولما كانت الأشعة الواقعة عليهما قد تجردت من الاشعاع الذى يمتصه الزجاج ، فالأشعة عند اختراقها زجاج كل من القرصين لايمتص منها شىء ، وانما يكون الامتصاص مقصوراً على الحادث بفعل الطبقة الفضية المكسو بها 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 الناشىء 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 ، واذن يكون 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 اتبعا طريقة الدفع الفجائى فى توجيه الضوء نحو القرصين . فتأثير الفعل الغازى يستغرق وقتاً معيناً حتى يصل الى نهاية شدته ، أما تأثير الضغط الضوئى ففجائى ، فاذا استغرق وقوع الاشعة على القرصين برهة وجيزة ، كان الفعل الغازى فى مبدئه وكان أثره ضعيفاً جداً

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

وكان مصدر الضوء فى تجاربهما قوساً فولتيا ، وقدرا طاقة الاشعاع الواقع على كل من

القرصين باسقاط 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 التى امتصها . ودلت النتائج على أن قيمة الضغط الضوئى متفقة وما يستنبط نظرياً

وقد توخى « بوينتنج »[1] طريقاً آخر للتخلص من أثر الفعل الغازى فى بيان الضغط الاشعاعى . فاذا هيء السطح الواقع عليه الاشعاع بحيث كان غير قابل للدوران بتأثير القوى العمودية عليه ، وقابلا للدوران بتأثير القوى الموازية له أو المنطبقة عليه ( انظر شكل ٣٣٣ ) بطل أثر الفعل الغازى ، فى ادارته . لأن الفعل الغازى يترتب عليه وجود قوة تدفع السطح فى اتجاه عمودى عليه . فاذا وقع الاشعاع أو الضوء بحيث كان اتجاهه مائلا على السطح ، تحلل قوة الضغط الى مركبتين ، احداهما عمودية على السطح وهذه لا أثر لها فى الدوران ، والاخرى موازية للسطح وهذه هى التى تحدث الدوران ، فاذا كان السطح عاكساً الاشعاع عكساً تاماً فمركبة القوة الحادثة بفعل الاشعة الساقطة ومركبة القوة الحادثة بفعل الأشعة المنعكسة تكونان متساويتين . وفى اتجاهين متضادين ، فتتعادلان . اما اذا كان السطح أسود يمتص امتصاصاً تاماً


( شكل ٣٣٣ )

عدمت الاشعة المنعكسة وأثرت مركبة ضغط الاشعة الساقطة على حدتها فيعانى السطح قوة تدفعه فى اتجاه هذه المركبة

والجهاز الذى استخدمه « بوينتنج » يتركب من قرصين من الزجاج الرقيق . مثبتين فى نهايتى ساق خفيفة من الزجاج بحيث يكون القرصان عموديين على الساق ( شكل ٣٣٣ ) فلا يكون للقوى العمودية على مستوى القرصين ازدواج ما يعمل فى ادارة الجهاز ، والساق معلقة بسلك من الكوارتز ومثبت بها مرآة صغيرة يتسنى بوساطتها قياس الدوران . وأحد القرصين مكسو بطبقة من السناج ، وهذا الذى تصوب اليه الاشعة والآخر مكسو بطبقة من الفضة . والجهاز معلق فى 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

(١) Poynting

## ٤٣٩ — تعريفات : شدة الاشعاع والاشعاع الكلى وكثافة الطاقة

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

( أولا ) شدة الاشعاع

اذا فرضنا أن سطحاً ينبعث منه الاشعاع ، وأخذنا نقطة ا عليه ، وراعينا عندهذه النقطة مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز و س١ ، فانه كلما بعدنا عن هذه النقطة فى الاتجاه العمودى على السطح قلت كمية الاشعاع الواقع فى وحدة الزمن على وحدةالمساحات عمودياً عليها طبقاً لقانون التربيع العكسى . فاذا راعينا نقطة ب (شكل ٣٣٤) على استقامة العمود ا ب المقام على المساحة المذكورة وعلى بعد منها نرمز له بالحرف م أمكن اعتبار كمية الاشعاع أو طاقة الاشعاع الواقع فى وحدة الزمن عمودياً على وحدة المساحات فى تلك النقطة مساوية

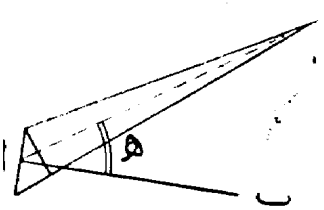
$$\frac{\text{و س}_1}{\text{م}^2}$$

واذا راعينا عند ب ، مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز و س٢ ، عمودية على العمود ا ب فمقدار الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن على هذه المساحة يمكن اعتباره مساوياً

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

حيث تعرف سـ بشدة الاشعاع المنبعث من السطح عند ا

اما اذا بعدنا عن السطح المشع فى اتجاه يصنع مع العمود عند ا زاوية قدرها هـ فالاشعاع الصادر من المساحة و س١ فى هذا الاتجاه يمكن اعتباره كأنه صادر من مساحة قدرها و س١ حتا هـ فى اتجاه العمود على هذه المساحة ( انظر شكل ٣٣٤ ) ويمكن اعتبار مقدار الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن عمودياً على وحدة المساحات فى نقطة مثل حـ على بعد قدره م عن نقطة ا فى الاتجاه المذكور مساوياً



( شكل ٣٣٤ )

$$\frac{\text{و س}_1 \text{ حتا هـ}}{\text{م}^2}$$

فاذا راعينا عند ح مساحة تفاضلية نرمز لها بالرمز و س$_{٢}$ وعمودية على ا ح فمقدار طاقة الاشعاع الواقع على هذه المساحة فى وحدة الزمن يكون مساوياً

$$\frac{\text{و س}_{١}\ \text{و س}_{٢}\ \text{حتا هـ}}{\text{م}^{٢}}$$

حيث تعرف سهـ بشدة الاشعاع المنبعث فى الاتجاه المذكور من السطح المشع عند ا ويلاحظ فى هذا المقدار أن

$$\frac{\text{و س}_{٢}^{٢}}{\text{م}^{٢}}$$

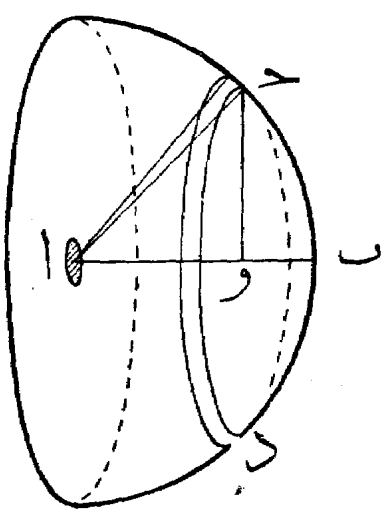
يساوى الزاوية المجسمة التى تصنعها المساحة و س$_{٢}$. فاذا رمزنا لهذه الزاوية بالرمز التفاضلى و و ، يتضح أن الطاقة المنبعثة فى وحدة الزمن من المساحة و س$_{١}$ من السطح المشع ، والتى تنبعث خلال المنطقة المحدودة بالمخروط الذى رأسه عند هـذه المساحة وزاويته المجسمة و و ، هذه الطاقة يمكن اعتبارها مساوية

$$\text{سهـ و س}_{١}\ \text{و و حتا هـ}$$

حيث تكون هـ الزاوية بين محور الزاوية المجسمة وبين العمود على السطح المشع. وتكون سهـ فى المقدار المذكور شدة الاشعاع المنبعث من السطح عند النقطة المذكورة

( ثانياً ) الاشعاع الكلى

والاشعاع الكلى المنبعث من المساحة التفاضليـة من السطح ينبعث على هيئة نصف كرة تكون هذه المساحة فى مركزها ومنطبقة على مستواها القطرى ، فاذا رسمنا نصف كرة خارج السطح المشع مركزها المساحة التفاضلية عنـد ا كما هو مبين بشكل ( ٣٣٥ ) فالاشعاع الواقع على سطح نصف الكرة هو الاشعاع الكلى الصادر من المساحة التفاضلية . فاذا رسم العمود ا ب على المساحة المذكورة وأخذنا نقطة ما مثل ح على سطح الكرة ، وأسقطنا ح و عمودا على ا ب ورمزنا للزاوية المحصورة بين ا ب ، ا ح بالحرف هـ




( شكل ٣٣٥ )

ولتفاضلها بالرمز و ه يتضح من الشكل أن الحلقة ذات السمك التفاضلى التى مركزها و تكون مساحتها

$$٢ط \cdot حو \cdot ن \cdot و ه = ٢ ط ن^{٢} حا ه و ه$$

باعتبار أن ن رمز لنصف قطر الكرة

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

$$\frac{٢ ط ن^{٢} حا ه حتا ه و ه}{ن^{٢}} \cdot سه \cdot و س_{١}$$

باعتبار أن و س$_{١}$ المساحة التفاضلية المشعة عند ا

واذن يكون مقدار طاقة الاشعاع الكلى الواقع فى وحدة الزمن على سطح نصف الكرة مساوياً

$$و س_{١} \int_{ب}^{\frac{ط}{٢}} ٢ ط سه حا ه حتا ه و ه$$

$$= و س_{١} ط سه$$

أى أن طاقة الاشعاع الكلى المنبعث فى وحدة الزمن من وحدة المساحة من السطح المشع تساوى

$$ط سه$$

(ثالثاً) كثافة الطاقة فى الاشعاع التام

اذا فرضنا أن غلافاً ذا درجة منتظمة ثابتة من الحرارة ، بحيث يكون الاشعاع الموجود فى باطنه هو الاشعاع التام فى تلك الدرجة ، فان الاشعاع المنبعث من السطح الداخلى للكرة نحو مركزها ينبعث من السطح عمودياً عليه ، فاذا راعينا مساحة تفاضلية من سطح الكرة قدرها و س$_{١}$ ، فطاقة الاشعاع المنبعث من هذه المساحة فى وحدة الزمن و يقع عمودياً على وحدة المساحة فى المركز يكون مقدارها طبقاً لتعريف شدة الاشعاع مساوياً

$$\frac{سه \cdot و س_{١}}{ن^{٢}}$$

وبما ان الطاقة الواقعة فى وحدة الزمن على وحدة المساحات ، تساوى حاصل ضرب الطاقة الموجودة فى وحدة الحجوم فى سرعة انتقال الاشعاع ، ينتج ان الطاقة فى وحدة الحجوم عند

مركز الكرة من جراء الاشعاع المنبعث من المساحة التفاضلية ء س١ من السطح يكون مقدارها مساوياً

$$\frac{\text{شـ}_{\text{ء}}\, \text{س}_1}{\text{س}_2^{\text{ـ}}}$$

باعتبار أن ـ رمز لسرعة انتقال الاشعاع

واذن تكون الطاقة فى وحدة الحجوم عند المركز من جراء الاشعاع المنبعث من جميع أجزاء سطح الكرة مساوياً

$$\frac{\text{شـ}}{\text{س}_2^{\text{ـ}}} \int_{\text{ء}} \text{س}_1 = \frac{٤\, \text{ط}\, \text{شـ}}{\text{ـ}}$$

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

## ٤٣٠ – اثبات قانون ستيفان ببرهان نظرى

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 فى باطن الأغلفة ، وكان « برتولى » (٢) أول من تنبه الى امكان ذلك

والفكرة الأساسية تتلخص فى اعتبار الفراغ فى باطن الغلاف ذى الدرجة الثابتة شبيهاً بالمادة القابلة للتقلص أو التمدد الثابت الدرجة (٣) ، وللتقلص أو التمدد الثابت الحرارة (٤) ، فيكون من جراء ذلك قابلا لدورة « كارنو » القابلة للعكس (٥) فالاشعاع فى باطن الغلاف ، له ضغط يعانيه مثلا

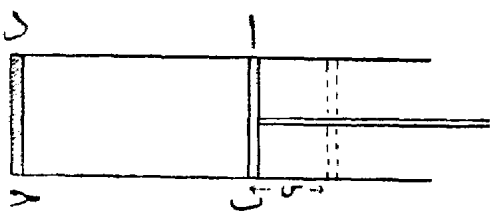
---

(١) Boltzmann (٢) Bertoli (٣) Isothermal

(٤) Adiabatic (٥) Carnot's Reversible Cycle

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 فى أثناء ذلك ثابتة تطلب التمدد أن يستمد باطن الغلاف اشعاعاً تعادل طاقته مقدار الشغل الذى عمله الضغط مضافاً اليه زيادة الطاقة الحالة فى الحجم الممدود حتى يظل الاشعاع فى الباطن كله الاشعاع التام فى درجة الحرارة المذكورة ويكون التمدد فى هذه الحالة شبيهاً بتمدد المادة فى دورة « كارنو » تمدداً ثابت الدرجة . أما اذا امتنع الباطن من أن يستمد خلال التمدد الطاقة المذكورة ، فان الشغل الذى يعمله الضغط تستمد طاقته من طاقة الاشعاع الموجود فى الباطن ، فتقل هذه الطاقة وتقل أيضاً كثافتها ، ويقل تبعاً لذلك الضغط الاشعاعى ، ويصير الاشعاع الموجود فى الباطن اشعاعاً تاماً فى درجة حرارة أخفض . ويكون التمدد فى هذه الحالة شبيهاً بتمدد المادة فى دورة كارنو تمدداً ثابت الحرارة

ولتطبيق هذه الفكرة لاستنباط قانون ستيفان ، نفرض اسطوانة من مادة عاكسة للاشعاع عكساً تاماً بها مكبس ، ا ب ( شكل ٣٣٦ ) قابل للانزلاق فيها من غير مقاومة ، ويعكس هو أيضاً الاشعاع عكساً تاماً ، ولنفرض النهاية حـ د للاسطوانة من مادة تامة السواد ، ولنفرض السعة الحرارية لجدران الاسطوانة والمكبس صغيرة يمكن اغفالها ، ولنرمز لدرجة الحرارة المطلقة للجسم الاسود حـ د بالحرف ه

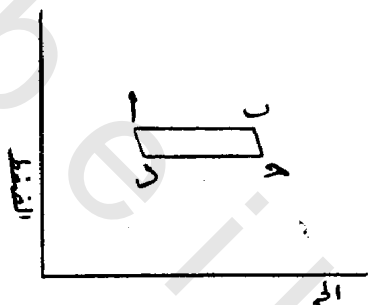


( شكل ٣٣٦ )

فعند التعادل يكون الحجم المحدود بالمكبس وبجدران الاسطوانة بمثابة باطن غلاف فى درجة الحرارة المطلقة ه ويكون الاشعاع الذى يملأه هو الاشعاع التام فى هذه الدرجة . فاذا رمزنا لطاقة هذا الاشعاع فى وحدة الحجوم أى لكثافة الطاقة بالحرف ن ، وللضغط الواقع على وحدة المساحات بالحرف صه ، وفرضنا مساحة المكبس قدرها الوحدة وانه تحرك مسافة قدرها س الى الخارج بحيث تبقى درجة الحرارة فى الباطن ثابتة ، ويبقى الاشعاع التام واحداً ، فان الشغل الذى يعمله الضغط الاشعاعى يساوى

وتكون زيادة حجم الباطن هى س ، واذن زيادة الطاقة الباطنية ص س ويكون مجموع هذه الزيادة والشغل مساوياً الطاقة التى يلزم أن يستمدها الباطن من الجسم الأسود ، فى أثناء هذا التمدد ، ويكون هذا التمدد من قبيل التمدد الثابت الدرجة فى دورة كارنو ، ويمثل بالخط ا ب (شكل ٣٣٧) حيث يبقى الضغط ص ثابتاً ويزداد الحجم من القيمة المدلول عليها بالنقطة ا الى القيمة المدلول عليها بالنقطة ب . فاذا رمزنا لمقدار الحرارة أو الطاقة التى تستمد من المصدر بالحرف ح ، فان

ح = ص س + ص س



( شكل ٣٣٧ )

فاذا فرضنا بعد ذلك أن الجسم الاسود ح د ( ٣٣٦ ) قد حجب عن باطن الغلاف ( ويمكن حدوث ذلك اذا فرضنا أن صفيحة رقيقة عاكسة ذات سعة حرارية صغيرة ، قد وضعت فى باطن الغلاف قريبة من السطح ح د تكاد تلمسه ) وفرضنا أن المكبس استمر فى الحركة الى الخارج مسافة قدرها س ، فان الشغل الذى يعمله الضغط الاشعاعى يستمد من طاقة الاشعاع فى الباطن ، فتقل هذه الطاقة ، وبما أن الحجم قد ازداد فان كثافة الطاقة تقل أيضاً ، ويقل تبعاً لكل ذلك ، الضغط الاشعاعى واذن يكون الاشعاع الموجود فى الباطن اشعاعاً تاماً فى درجة مطلقة أخفض ، فاذا رمزنا لنقص الضغط الاشعاعى بالرمز ء ص ، ولنقص الدرجة المطلقة بالرمز ء لا ، فان هذا التمدد يكون من قبيل التمدد الثابت الحرارة ويمثل فى (شكل ٣٣٧) بالخط ب حـ حيث يبلغ الحجم القيمة المدلول عليها بالنقطة حـ ويتقص الضغط بالمقدار المذكور فتصير قيمة ص — ء ص . وتصير قيمة الدرجة لا — ء لا

فاذا فرضنا الآن أن الجسم الاسود ح د ( شكل ٣٣٦ ) قد استبدل به آخر أسود ، ولكن فى درجة الحرارة لا — ء لا ، وتعرض الباطن لهذا الجسم ( بازالة الصفيحة المفروضة آنفاً ) ، وحرك المكبس الى الداخل بحيث تبقى درجة الحرارة لا — ء لا ثابتة ويبقى الاشعاع اشعاعاً تاماً فى هذه الدرجة ويبقى ضغطه ص — ء ص ثابتاً ، فان العملية تتطلب أن يستمد الجسم الأسود طاقة مساوية الشغل الذى يعمل ضد الضغط الاشعاعى مضافاً اليه الطاقة التى كانت حالة

فى الحجم المتقلص ، وتكون العملية من قبيل التقلص الثابت الدرجة فى دورة كارنو ، حيث يتسرب مقدار من الحرارة الى المكثف ، وتمثل فى شكل ( ٣٣٧ ) بالخط حـ 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 فى درجة حرارة أعلى فتعود درجة الحرارة الى القيمة ﻫ ويعود الضغط الى القيمة صـ ﻫ ، وتكون العملية من قبل التقلص الثابت الحرارة ونمثل فى ( شكل ٣٣٧ ) بالخط د ا ، وتعود الحالة الى ما كانت عليه فى الابتداء

فالدورة هنا تتكون من أربع عمليات وتشبه دورة كارنو ، وهى قابلة للعكس . والشغل الذى يعمل فى أثنائها يمثل بمساحة الشكل ا ب حـ د ويساوى س ، صـ ﻫ ، لأن زيادة الحجم من ا ← ب مرموز لها بالحرف س والبعد العمودى بين ا ب و د حـ يمثل المقدار ، صـ ﻫ

وطبقاً لنظريات الديناميكا الحرارية فان هذا الشغل يساوى

$$\frac{ح}{ﻫ} \cdot ، ﻫ$$

حيث تكون قيمة ح مقدار الطاقة المستمدة من المصدر فى درجة الحرارة المطلقة ﻫ وبما أن

$$ح = صـ ﻫ س + ن س$$

$$\therefore س ، صـ ﻫ = \frac{صـ ﻫ س + ن س}{ﻫ} ، ﻫ \quad . . . . . (١)$$

والضغط الاشعاعى الواقع على وحدة المساحات يساوى طبقاً لنظرية مكسول ، وكما دلت التجارب العملية ، الطاقة الحالة فى وحدة الحجوم . 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] فى الغازات على جدران الاناء الذى يحوى الغاز . واذن يمكن اعتبار ثلث

---

(١) Kinetic Theory of Gases

الطاقة الحالة فى وحدة الحجوم مساوياً مقدار طاقة الاشعاع الواقع عمودياً على وحدة المساحات من السطح ، كما يعتبر ثلث عدد جزيئات الغاز الموجودة فى وحدة الحجوم كأنها تتحرك فى اتجاه عمودى على السطح الواقع عليه ضغط الغاز وعلى هذا الاعتبار يكون المقدار $ص_{هـ}$ الذى يمثل ضغط الاشعاع مساوياً ثلث المقدار $و_{هـ}$ الذى يمثل طاقة الاشعاع التام فى وحدة الحجوم واذن يكون

$$ص_{هـ} س + \frac{1}{3} و_{هـ} س = \frac{1}{3} و_{هـ} س$$

$$\frac{1}{3} و_{هـ} = ص_{هـ} \quad ، \quad و$$

وبالتعويض فى المعادلة ( ١ ) ينتج أن

$$\frac{1}{3} س و_{هـ} = \frac{1}{3} و_{هـ} س - \frac{و \, لا}{لا}$$

$$\therefore \quad و_{هـ} = ٤ \, و_{هـ} - \frac{و \, لا}{لا}$$

$$\therefore \quad ٤ = \frac{و_{هـ}}{و} - \frac{و \, لا}{لا}$$

ومنه ينتج أن

$$لو \, و_{هـ} = ٤ \, لو \, لا + \text{ثابتا}$$

$$\therefore \quad و_{هـ} \text{ تتناسب } لا^{٤}$$

وهذا يثبت أن طاقة الاشعاع التام فى وحدة الحجوم ، أى كثافة طاقة الاشعاع التام فى باطن غلاف تتناسب و درجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى الأس الرابع . ولما كان الاشعاع التام فى باطن غلاف ذى درجة ثابتة هو الاشعاع المنبعث من جسم تام السواد فى تلك الدرجة ، وكثافة ذلك متناسبة وشدة هذا كما اتضح فى البند السابق ، ومتناسبة أيضا 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 فى 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 ع ولدرجة الحرارة المطلقة بالحرف ه ولكثافة الطاقة بالحرف ى وللطاقة الكلية فى الحجم كله بالحرف س ، فيكون

$$س = ع ى \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

فاذا ازاد لحجم بالمقدار د ع ، و بالرمز لضغط الاشعاع بالحرف ص فان الشغل الذى يعمله الضغط مساوياً

$$ص د ع = \frac{١}{٣} ى د ه$$

ويعادل هذا ، النقص فى الطاقة الكلية

ومن المعادلة ( ١ ) ينتج أن

$$د س = ى د ع + ع د ى$$

$$\therefore \quad \frac{١}{٣} ى د ع = - ( ى د ع + ع د ى )$$

والاشارة السالبة تدل على أن الشغل الذى يعمله الضغط عند زيادة الحجم يصحبه نقص فى الطاقة الكلية

ومن المعادلة الأخيرة ، ينتج أن

$$\frac{٤}{٣} ى د ع + ع د ى = \text{صفراً}$$

$$\therefore \quad ى ع^{\frac{٤}{٣}} = \text{مقداراً ثابتاً} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

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

ن تتناسب و $\text{لا}^{٤}$

$$\text{أو } \frac{\text{ن}}{\text{لا}^{٤}} = \text{مقداراً ثابتاً} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٣)$$

ومن المعادلتين ( ٢ ) ، ( ٣ ) ينتج أن

$$\text{لا}^{٤} \text{ ح}^{\frac{٤}{٣}} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

$$\text{أو } \text{لا ح}^{\frac{١}{٣}} = \text{مقداراً ثابتاً} \quad . \quad . \quad . \quad (٤)$$

وتدل المعادلة الأخيرة على العلاقة المطلوبة بين درجة الحرارة والحجم فى التغيرات الثابتة الحرارة

وبما أن الجذر التكعيبى للحجم يتناسب والبعد الطولى ، ينتج من المعادلة ( ٤ ) أنه اذا تمدد الغلاف تمدداً ثابت الحرارة فان درجة الحرارة المطلقة للغلاف تتناسب عكسياً وبعده الطولى ، فاذا راعينا غلافاً كرياً ورمزنا لنصف قطره فى أية لحظة فى أثناء التمدد بالرمز ر فان

$$\text{لا ر} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

## ٤٣٢ — استنباط العلاقة بين الطول الموجى للاشعاع ودرجة الحرارة — قانون فين

سبق فى ظاهرة « دبلر » بند (٤٠٣) أنه اذا رمز لتردد الموجات الصادرة من المصدر بالحرف ت وتحرك المصدر بعيداً عن الشخص بسرعة ء فان التردد بالنسبة الى هذا الشخص يصير

$$\text{ت}' = \text{ت} \left(١ - \frac{\text{ء}}{\text{ص}}\right)$$

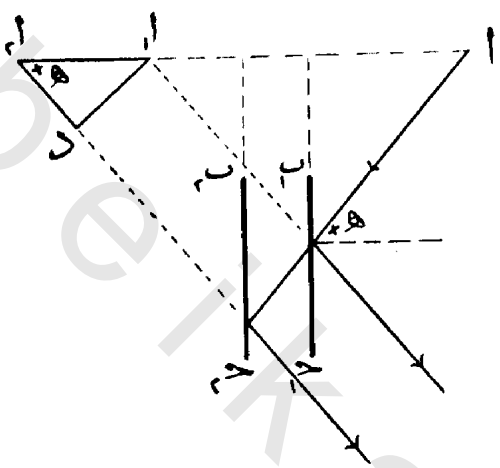
باعتبار أن ص رمز لسرعة انتشار الموجات .

وبالرمز للطول الموجى بالحرف ل ، فالطول الموجى بالنسبة الى هذا الشخص يصير

$$\text{ل}' = \frac{\text{ل}}{١ - \frac{\text{ء}}{\text{ص}}} = \text{ل} \left(١ + \frac{\text{ء}}{\text{ص}}\right) \text{ بالتقريب}$$

ومن هذا يتضح أنه اذا تحرك المصدر بعيداً عن الشخص بسرعة ١ ، فان الطول الموجى يتغير من ل الى لَ ، بحيث تكون العلاقة بين ل ، لَ طبقاً للمعادلة السابقة

فاذا فرضنا أن شعاعاً ذا طول موجى ل يسقط من ا ( شكل ٣٣٨ ) على مرآة ب ، حـ ، وكانت زاوية السقوط هـ فالشعاع ينعكس على سطحها كأنه صادر من الصورة ا ، فاذا كان المصدر والمرآة ساكنين فالطول الموجى للاشعاع المنعكس لايختلف عنه للاشعاع الساقط . ولكن اذا كانت المرآة متحركة ، وفرضنا أنها تتحرك فى استقامة العمود على سطحها بعيداً عن المصدر بسرعة نرمز لها بالحرف س ، فان الصورة ا ، تتحرك بسرعة قدرها ٢ س واذن سرعة انتقال الصور فى استقامة الشعاع المنعكس ( ومقدارها يمثل فى ( شكل ٣٣٨ ) بالمستقيم ا ، د ) تكون مساوية

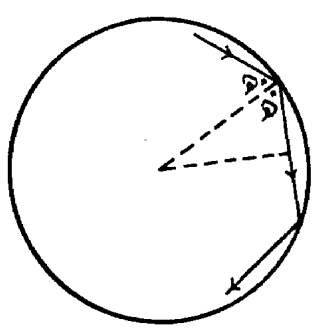

( شكل ٣٣٨ )

٢ س حتا هـ

فيكون الشعاع المنعكس كأنه صادر من مصدر يبعد فى استقامة الشعاع المنعكس بسرعة قدرها المقدار المذكور ، فيكون الطول الموجى للاشعاع المنعكس هو

$$لَ = ل \left( ١ + \frac{٢ س \text{ حتا } هـ}{ء} \right) \quad . . . . . \quad (١)$$

فاذا راعينا غلافاً كرى الشكل ، سطحه الداخلى عاكس ، وأخذ الغلاف يتمدد بسرعة قدرها س ، وفرضنا ان اشعاعاً ذا طول موجى ل يقع على سطحه الداخلى بزاوية سقوط قدرها هـ كما هو مبين بشكل (٣٣٩) ورمزنا لنصف قطر الغلاف فى أية لحظة بالرمز ن فان


( شكل ٣٣٩ )

$$س = \frac{و ن}{و ز}$$

باعتبار ان و ز رمز لتفاضل الزمن

ويكون الطول الموجى للاشعاع عند الانعكاس هو

$$ل' = ل\left(\frac{٢\,ع\,\frac{س}{ق}}{ه} + ١\right)$$

$$\therefore\ ل' - ل = ٢\,ل\,\frac{ع\,\frac{س}{ق}}{ه}$$ حتا ه

ويساوى التغير الحادث فى الطول الموجى عند الانعكاس

ويتضح من الشكل أن الشعاع عند انعكاسه مرة ، يقطع مسافة قدرها ٢ س حتا ه قبل انعكاسه مرة أخرى . وبما أن سرعة انتقاله ه اذن معدل عدد انعكاساته فى وحدة الزمن يكون

$$\frac{ه}{٢\,س\ \text{حتا}\ ه}$$

واذن يكون معدل تغير الطول الموجى فى وحدة الزمن هو

$$ل\,\frac{ع\,\frac{س}{ق}}{ه} \cdot \frac{١}{س} = \frac{ع\,ل}{ق}$$

$$\therefore\ \frac{ع\,ل}{ل} = \frac{ع\,س}{س}$$

$$\therefore\ \text{لو}\ س = \text{لو}\ ل + \text{ثابتاً}$$

$$\therefore\ \frac{ل}{س} = \text{ثابتاً}$$

وهذه المعادلة تنص على أن الطول الموجى لاشعاع معين فى أية لحظة عند تمدد الغلاف الكرى يتناسب ونصف قطره . فاذا كان تمدد الغلاف ثابت الحرارة ، واعتبرنا أن كل نوع من أنواع الاشعاعات ذوات الأطوال الموجية المختلفة التى يتكون منها الاشعاع التام فى باطن الغلاف يتغير طوله الموجى وفقاً لهذه المعادلة ، و بما أن

$$ا\ س = \text{مقداراً ثابتاً} \qquad \text{( البند السابق )}$$

ينتج أن

$$\frac{ل}{س} \cdot ا\ س = ل\ ا = \text{مقداراً ثابتاً} \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

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

حجم الغلاف تغيراً ثابت الحرارة . والتغير الثابت الحرارة مقرون بتغير فى درجة الحرارة . اذن ينتج أنه اذا تغيرت درجة الحرارة المطلقة للغلاف من ح الى ح١ فالطول الموجى لكل نوع من أنواع الاشعاعات التى يتكون منها الاشعاع التام يتغير من ل الى ل١ بحيث يكون

$$\frac{ل}{ل_١} = \frac{ح_١}{ح} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

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

## ٤٣٣ – العلاقة بين طاقة اشعاع ذى طول موجى معين ودرجة الحرارة

الاشعاع التام فى باطن غلاف ذى درجة حرارة معينة يتكون كما ذكر آنفاً من أنواع من الاشعاع يختلف بعضه عن الآخر من حيث الطول الموجى ، ويمكن بوجه عام اعتبار الأطوال الموجية تتراوح بين الصفر وما لا نهاية له فالطاقة فى وحدة الحجوم أو كثافة طاقة الاشعاع التام هى مجموع طاقات كل الاشعاعات ذات الاطوال الموجية المختلفة فى وحدة الحجوم ، فاذا راعينا الاشعاعات التى يتراوح طولها الموجى بين الصفر ، ل ورمزنا لطاقتها فى وحدة الحجوم بالحرف ن ، ثم راعينا الاشعاعات التى يتراوح طولها الموجى بين الصفر ، ل + ء ل ، ورمزنا لطاقتها فى وحدة الحجوم بالمقدار ن + ء ن ، اتضح أن ء ن يمثل الطاقة فى وحدة الحجوم للاشعاعات التى تنحصر أطوالها الموجية بين ل ، ل + ء ل . فاذا رمزنا للمقدار

$$\frac{ء\ ن}{ء\ ل}$$

بالرمز ع$_{ل}$ ، بحيث يكون

$$ء\ ن = ع_{ل} \cdot ء\ ل$$

فالمقدار ع$_{ل}$ وهو الذى يمثل معدل الطاقة بالنسبة الى الطول الموجى للاشعاعات المحصورة

---

(١) Wien

أطوالها الموجية بين ل ، ل + ء ل هذا المقدار يسمى بايجاز «طاقة وحدة مدى الطول الموجى»[1]

وقانون ستيفان كما تبين من برهان بولتزمان ، ينص على أن كثافة طاقة الاشعاع التام تتناسب والمقدار $\theta^4$ . فاذا اعتبرنا هذا القانون منطبقاً على كل نوع من أنواع الاشعاعات المختلفة ذات الأطوال الموجية المختلفة التى يتكون منها الاشعاع التام ، وراعينا الاشعاعات التى تنحصر أطوالها الموجية بين $ل_1$ ، $ل_1 + ء ل_1$ فى درجة الحرارة المطلقة $\theta_1$ ، ورمزنا لكثافة طاقتها بالرمز $ء ن_1$ . وفرضنا أن الغلاف تغير تغيراً ثابت الحرارة بحيث صارت درجة الحرارة $\theta_2$ وصار الطول الموجى منحصراً بين $ل_2$ ، $ل_2 + ء ل_2$ وصارت كثافة الطاقة $ء ن_2$ فانه طبقاً لقانون ستيفان يكون

$$\frac{ء ن_1}{ء ن_2} = \frac{\theta_1^4}{\theta_2^4}$$

وبالرمز لطاقة وحدة مدى الطول الموجى $ل_1$ بالرمز $ع_1$ ولطاقة وحدة مدى الطول الموجى $ل_2$ بالرمز $ع_2$ بحيث يكون

$$ء ن_1 = ع_1 ء ل_1$$

$$ء ن_2 = ع_2 ء ل_2$$

ينتج أن

$$\frac{ع_1 ء ل_1}{ع_2 ء ل_2} = \frac{\theta_1^4}{\theta_2^4} \quad \ldots\ldots (1)$$

وبما أن $\frac{ل_1}{ل_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1}$ من البند السابق

أو $ل_1 \theta_1 = ل_2 \theta_2 \quad \ldots\ldots (2)$

وكذلك $(ل_1 + ء ل_1) \theta_1 = (ل_2 + ء ل_2) \theta_2$

---

(1) Energy per unit range of wave length

ينتج أن

$$\frac{\text{ك}_2}{\text{ك}_1} = \frac{\text{د}_1 \text{ل}_1}{\text{د}_2 \text{ل}_2}$$

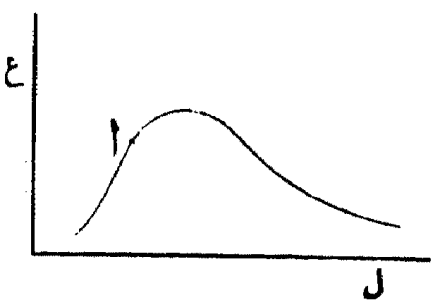
وبالتعويض فى المعادلة ( ١ ) ينتج أن

$$\frac{\text{ك}_1^5}{\text{ك}_2^5} = \frac{\text{ع}_1}{\text{ع}_2}$$

و

$$\frac{\text{ع}_1}{\text{ك}_1^5} = \frac{\text{ع}_2}{\text{ك}_2^5} \quad \ldots\ldots \quad (٣)$$

ومعنى هذه المعادلة أنه اذا تغيرت درجة الحرارة من $\text{ك}_1$ الى $\text{ك}_2$ ،وتغير تبعاً لذلك الاشعاع ذى الطول الموجى $\text{ل}_1$ الى اشعاع ذى طول موجى $\text{ل}_2$ ، كانت نسبة طاقة وحدة مدى الطول الموجى فى وحدة الحجوم فى الحالتين كنسبة الدرجتين المطلقتين المرفوعتين الى الأس الخامس . فاذا فرضنا أن المنحنى ( شكل ٣٤٠ ) يمثل كيفية توزع الطاقة بين الأطوال الموجية المختلفة فى الدرجة المطلقة $\text{ك}_1$ ، ومرسوم بحيث تبين الاحداثيات الرأسية طاقة وحدة مدى الطول الموجى فى وحدة الحجوم ، والاحداثيات الأفقية الطول الموجى ، فتكون المساحة المحصورة بين المنحنى والمحور الأفقى دالة على طاقة الاشعاع التام فى وحدة الحجوم ، وراعينا نقطة ما مثل ا على المنحنى وكان الطول الموجى عندها $\text{ل}_1$ وطاقة وحدة مدى الطول الموجى $\text{ع}_1$ فالمعادلة ( ٢ ) تنص على أنه اذا تغيرت درجة الحرارة الى $\text{ك}_2$ ، فهذا الطول الموجى يصير $\text{ل}_2$ بحيث تكون النسبة بين الطولين عكس النسبة بين الدرجتين . والمعادلة ( ٣ ) تنص على أن قيمة الاحداثى الرأسى لهذه النقطة تتغير من $\text{ع}_1$ الى $\text{ع}_2$ بحيث تكون النسبة بين القيمتين ، كالنسبة بين الدرجتين المطلقتين المرفوعتين الى الأس الخامس ، فاذا ارتفعت



( شكل ٣٤٠ )

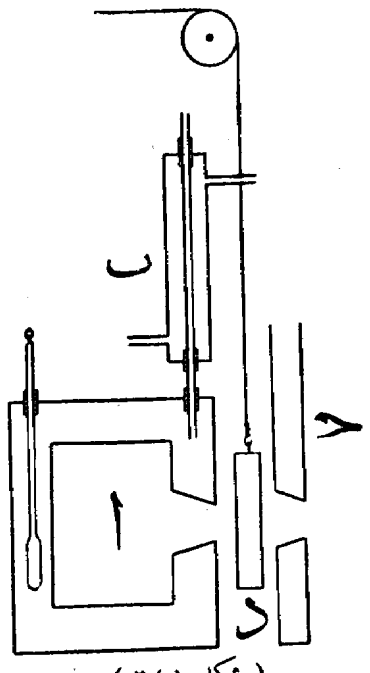
درجة الحرارة ترتب على ذلك أن كل نقطة مثل ا على المنحنى تزاح نحو اليسار (بحيث تنقص قيمة الطول الموجى) وتزاح الى أعلى (بحيث تزداد طاقة وحدة مدى الطول الموجى) بالمقادير التى تتطلبها المعادلتان (٢) و (٣) . فاذا راعينا بصفة خاصة قمة المنحنى حيث تكون ع عند نهايتها العظمى ، فارتفاع درجة الحرارة يزيح هذه القمة نحو اليسار ، ويزيحها الى أعلى أيضاً . فاذا رمزنا للطول الموجى الذى تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجى نهايتها العظمى فى درجة $ح_1$ بالرمز $ن_1$ وفى درجة $ح_2$ بالرمز $ن_2$ ، فان العلاقة بين الطولين الموجيين تكون

$$ن_1 ح_1 = ن_2 ح_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٤)$$

وتنص هذه المعادلة على أن الطول الموجى الذى تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجى نهايتها العظمى يتحول الى القصر كلما ارتفعت الدرجة . ويعرف هذا بقانون فين فى الازاحة (١)

## ٤٣٤ — تجارب لومر وبرنجشهايم

أجرى « لومر » (٢) و« برنجشهايم » (٣) تجارب لتحقيق قانون ستيفان ما بين درجتى المائة و١٣٠٠ مئوية واستخدما فى هذه التجارب غلافاً ذا درجة منتظمة ثابتة كمصدر اشعاع ، وجعلا الغلاف فى التجارب التى أجريت فى درجة المائة من اناء ا من النحاس كالمبين (بشكل ٣٤١) ذى جدارين يغلى بينهما الماء والاناء مكسو باطنه بالسناج ومتصل به من أعلى مكثف ب لتكثيف ما يتصاعد من الماء المغلى حتى يبقى مقدار الماء ما بين الجدارين ثابتاً . وجعلا فيما بين الجدارين ترمومتراً وأمام فتحة الاناء حاجز حـ 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



(شكل ٣٤١)

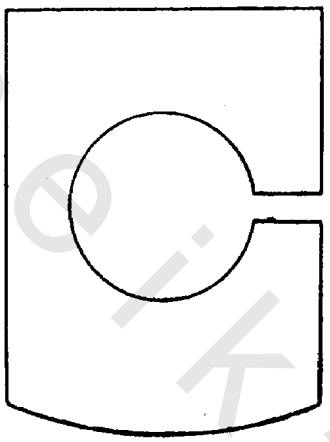
(١) Wien's Displacement Law

(٢) Lummer

(٣) Pringsheim

والحاجزان المذكوران ذوا جدارين بينهما ماء فى درجة حرارة الجو

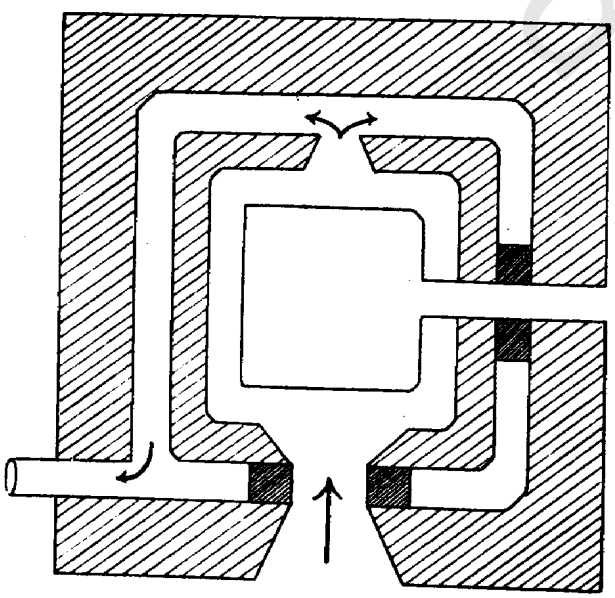
وفى درجات الحرارة الواقعة بين ٢٠٠ ، ٦٠٠ مئوية استبدلا بالاناء المذكور كرة من النحاس كما هو مبين بشكل (٣٤٢) مكسوسطحها الداخلى بالسناج ، ويحيط بها اناء من الحديد به مخلوط من أزوتات الصوديوم والبوتاسيوم : فاذا سخن المخلوط انصهر حوالى درجة ٢١٩ مئوية ، وجعلا فى هذا المخلوط ترمومتراً مناسباً ومخوضاً لتقليب السائل المنصهر



( شكل ٣٤٢ )

أما فى درجات الحرارة التى تتجاوز الستمائة ، فقد استخدما اسطوانة من الحديد يحيط بهـا تنور كما بشكل ( ٣٤٣ ) يحمى بالهواء الساخن

ولقياس طاقة الاشعاع استخدما بولومتراً ( انظر بند ٤٠٠ ) وتتلخص الطريقة التى اتبعاها فى أن يعرض البلومتر للاشعاع الصادر من الغلاف وذلك برفع الحاجز د من امام فتحته فاذا ما بلغ انحراف الجلفانومتر المتصل بالبولومتر نهايته ، سدت الفتحة واعتبر انحراف الجلفانومتر متناسباً وطاقة الاشعاع الواقع على البولومتر فى وحدة الزمن . وقد دللا على ذلك بقياس الانحراف فى الدرجة الواحدة عند مايوضع البولومتر على أبعاد مختلفة من الغلاف فدلت التجارب على أن الانحراف يتناسب وعكس مربع البعد



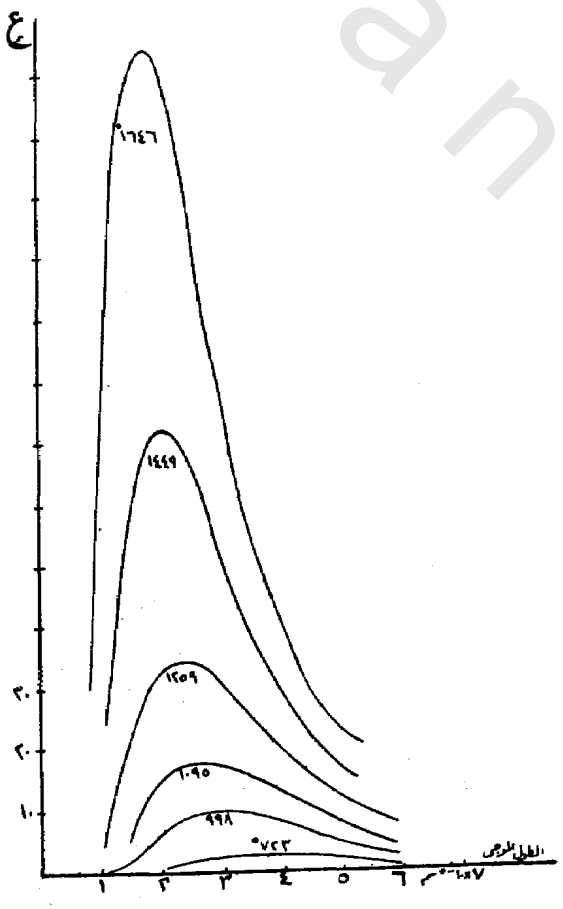
( شكل ٣٤٣ )

واذا رمز لدرجة الحرارة المطلقة للغلاف بالرمز $لا_{١}$ ولدرجة الحرارة المطلقة للجو بالرمز $لا_{٢}$ ، فطبقاً لقانون ستيفان تكون الطاقة المنبعثة من فتحة الغلاف فى وحدة الزمن متناسبة والمقدار $(لا_{١}^{٤} - لا_{٢}^{٤})$ فاذا كان البعد بين البولومتر وفتحة الغلاف ثابتاً كان انحراف الجلفانومتر

متناسباً والمقدار المذكور . وهذا ماعززته التجارب

وفى سنة ١٨٩٩ أجرى « لومر » وبرنجشهايم » تجارب أخرى لتحقيق قانون فين ولبيان كيفية توزع الطاقة بين الاشعاعات ذوات الاطوال الموجية المختلفة . وجعلا فى هذه التجارب الاشعاع الصادر من فتحة الغلاف يقع على منشور من الفلورسبار فيتشتت الى الاشعاعات ذوات الاطوال الموجية المختلفة كما يتشتت الضوء الى الأضواء الطيفية واستبدلا بالعدسات التى تستخدم عادة لم الاشعاع مرآة مقعرة عاكسة ، وجعلا الاشعاع بعد تشتته بفعل المنشور يقع على بولومتر خطى ( انظر بند ٤٠٠ ) ليتيسر بوساطته قياس طاقة الاشعاع فى المنطقة الضيقة من الطيف التى يحل فيها سلك البولومتر

ونتائج هذه التجارب مبينة بشكل ( ٣٤٤ ) حيث يدل الاحداثى الأفقى على الطول الموجى ويدل الاحداثى الرأسى على طاقة وحدة مدى الطول الموجى وهو المقدار المرموز له بالحرف ع بحيث تكون طاقة الاشعاع المنحصر بين الطولين الموجيين ل ، ل + د ل مساوية ع د ل وهذا المقدار الأخير هو المقيس بالبولومتر ، وهو طاقة المنطقة الضيقة من الطيف التى يحل فيها سلك البولومتر وتكون مساحة الشكل المنحصر بين المنحنى وبين المحور الافقى مساوية طاقة الاشعاع الكلى



(شكل ٣٤٤)

وقد دلت نتائج التجارب على أن هذه المساحة تتناسب ودرجة الحرارة المطلقة مرفوعة الى الأس الرابع ، على أن الطول الموجى الذى تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجى نهايتها العظمى ( أى الذى تكون عنده قمة المنحنى ) يتناسب وعكس درجة الحرارة المطلقة ، كما

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

## ٤٣٥ — معادلات توزع الطاقة فى الطيف

اذا رمز بالرمز $ع_ل$ لطاقة وحدة مدى الطول الموجى فى درجة الحرارة المطلقة $ح$ فان

$$\frac{ع_ل}{ح^٥} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

وكذلك $ل\ ح = \text{مقداراً ثابتاً}$

اذن يمكن ادماج هاتين المعادلتين فى المقدار الآتى

$$\frac{ع_ل}{ح^٥} \text{ يتناسب } ق\ ى\ (ل\ ح) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (١)$$

حيث تكون $ى$ دالة غير معروفة للمقدار $ل\ ح$

ولكن $ح^٥$ تتناسب $ق\ \frac{١}{ل^٥}$

اذن يمكن وضع معادلة ( ١ ) فى الصورة الآتية

$$ع_ل = \frac{ا}{ل^٥}\ ى\ (ل\ ح) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٢)$$

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

---

(١) لبيان كيفية الحصول على هذه المعادلات يراجع كتاب The Electron Theory تاليف Richardson أو Dictionary of Applied Physics فى موضوع Quantum Theory

الاولى تعرف بمعادلة فين وتنص على أن

$$ع_{ل} = \frac{1}{هـ_{ل}} e^{-\frac{ب}{ل\, ك}} \quad \ldots\ldots\ldots (٣)$$

حيث يكون ١ ، ب مقدارين ثابتين ، e الأساسى الطبيعى للوغارتمات والثانية معادلة « رايلى »[1] وتنص على أن

$$ع_{ل} = \frac{1}{هـ_{ل}} e^{-\frac{ب}{ل\, ك\, ث}} \quad \ldots\ldots\ldots (٤)$$

والثالثة معادلة بلانك[2] وتنص على أن

$$ع_{ل} = \frac{1}{هـ_{ل}^{٥} \left( e^{\frac{ب}{ل\, ك\, ث}} - ١ \right)} \quad \ldots\ldots (٥)$$

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 فالاتفاق بينها وبين نتائج التجارب العملية تام . وهذه المعادلة تفضى الى صورة معادلة فين عند ما يكون المقدار ل ك صغيراً اذا قوبل بالمقدار الثابت ب

وأجرى « روبنز »[3] و « كورلباوم »[4] تجارب لاختبار ما اذا كانت معادلة بلانك تمتاز عن معادلة فين فيما يختص بالأطوال الموجية الطويلة التى يمكن الحصول عليها بتعدد الانعكاسات

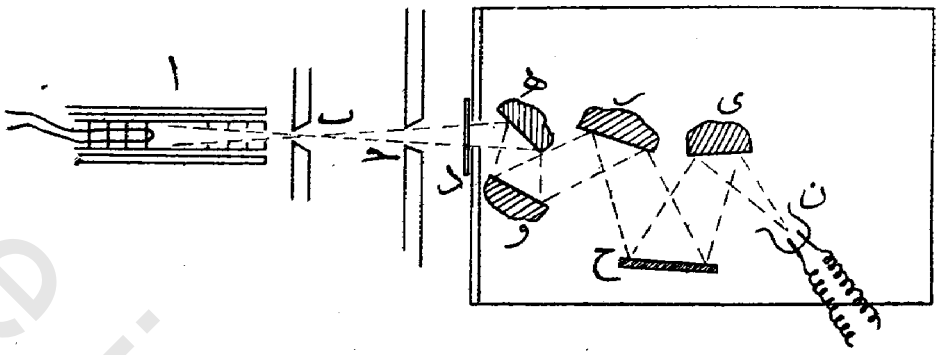
---

(١) Lord Rayleigh

(٢) Planck

(٣) Rubens (٤) Kurlbaum

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




( شكل ٣٤٥ )

ينعكس عند السطوح المدلول عليها بالحروف هـ ، و ، ز ، ى وكانت فى بعض التجارب سطوح الفلوسبار وفى الاخرى الملح الصخرى أو السلفين ، أما السطح ح فسطح مرآة مقعرة ، يتجمع بوساطتها الاشعاع بعد الانعكاس ، على سطح الترموبيل ن

فالطول الموجى للاشعاع المتجمع على الترموبيل معروف أو يمكن قياسه بالطريقة التى وردت فى بند (٤٠٢) وطاقة هـذا الاشعاع عند صدوره من الغلاف فى درجات مختلفة من الحرارة تقاس بوساطة الترموبيل ، وكانت نتائج 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 التى قامت عليها معادلة بلانك تعززها هـذه التجارب . وأهم هـذه الفروض فرض تمتاز به معادلة بلانك ولم يسبق وروده فى العلم الطبيعى وهو أن مصادر الاهتزاز أى المصادر التى تحدث عن اهتزازها الاشعاع الصادر من الجسم المشع وهى التى تمتص أيضاً الاشعاع فى حالة الامتصاص ، هذه المصادر تنبعث منها الطاقة بمقادير لا تقبل التجزئة ، وليست تنبعث انبعاثاً مستمراً متصلا ، وذهب بلانك الى أن لكل اشعاع ذى طول موجى معين أو ذى تردد معين

مصادر يحدث عن اهتزازها هذا الاشعاع واذا رمز للتردد بالحرف ت ولأصغر مقدار من الطاقة يمكن أن ينبعث من هذا الاشعاع بالحرف ق ، فان

$$ق = هـ ت$$

حيث يكون هـ مقداراً ثابتاً يعرف بثابت بلانك (١)

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

## ٤٣٧ — قيمات المقادير الثابتة فى قوانين الاشعاع

اذا رمز بالحرف ك لكمية الطاقة المنبعثة فى وحدة الزمن من وحدة المساحات من سطح الجسم الأسود التام السواد وهو فى درجة الحرارة المطلقة ط فطبقاً لقانون ستيفان يكون

$$ك = ر ط^{٤}$$

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

$$٥,٧ \times ١٠^{-٥}$$

وبالرمز للطول الموجى الذى تبلغ عنده طاقة وحدة مدى الطول الموجى نهايتها العظمى بالرمز ن ولدرجة الحرارة المطلقة بالحرف ط ، فطبقاً لقانون فين فى الازاحة يكون

$$ن ط = \text{مقداراً ثابتاً}$$

واذا قيس الطول الموجى بالميكرون ( وهو $١٠^{-٦}$ من المتر ) فالقيمة العددية للمقدار الثابت هى



---

(١) Planck's Constant

(٢) Quantum

(٣) Quantum Theory

ومعادلة بلانك تنص على أن

$$ع_{ل} = \frac{١}{\frac{ب}{ل^{٥}} \left( e^{\frac{ا}{ل ك}} - ١ \right)}$$

والمقدار الثابت ا هو $٨ ط هـ ص$

حيث يكون ط رمزاً للنسبة التقريبية ، هـ لثابت بلانك ، ص لسرعة الضوء أما المقدار الثابت ب فهو

$$\frac{هـ ص}{ك}$$

حيث ك هو الثابت الذرى للغاز بحيث يكون متوسط طاقة حركة الجزئ فى الغاز الأحادى الألفة فى درجة الحرارة المطلقة مساوياً $\frac{٣}{٢}$ ك ث

والقيمة العددية لثابت بلانك ( هـ ) هى

$$٦,٥٥ \times ١٠^{-٢٧}$$

والقيمة العددية للمقدار ك هى

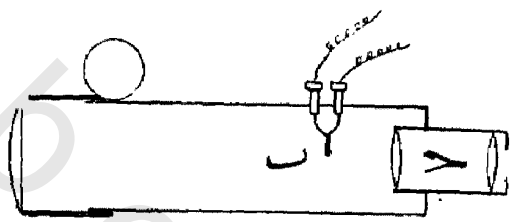
$$١,٣٧ \times ١٠^{-١٦}$$

ويلاحظ أن ثابت بلانك مقدار طبيعى ابعاده هى أبعاد الشغل مضروبة فى الزمن

## ٤٣٨ — تطبيق قوانين الاشعاع لقياس درجة الحرارة

تطبق قوانين الاشعاع المذكورة ، لقياس درجات الحرارة فى الحالات التى لا يمكن نظراً لارتفاع الدرجة تطبيق الترمومترات المعتادة أو تطبيق الظاهرة الكهربائية الحرارية ، كقياس درجات حرارة الأفران ، ونقط انصهار المعادن التى تنصهر فى درجات مرتفعة من الحرارة ، وتسمى الطرق المبنية على قوانين الاشعاع بالطرق الاشعاعية لقياس درجة الحرارة . والطريقة الشائعة تتوقف على قانون ستيفان . فالاشعاع الصادر من فتحة فى التنور مثلا يلم بوساطة مرآة مقعرة على بولومتر أو ترموبيل مناسب ، أو مقياس اشعاعى ويعاير انحراف الجلفانومتر بتعريض الجهاز وهو على بعد معلوم للاشعاع الصادر من فتحة ذات اتساع معلوم فى غلاف ذى 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 مثلا ، على ملتقى معدنين مختلفين عند ب ، وقطعة عينية ح يتسنى بالنظر خلالها الحصول على صورة للفتحة التي يصدر 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 فى وضع مناسب ويلم بوساطتها الاشعاع على الملتقى ب



(شكل ٣٤٦)

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

ويلاحظ أن قوانين الاشعاع المذكورة لاتنطبق الا فى حالة الجسم الأسود التام السواد

## ٤٣٩ — الثابت الشمسى وتعيين قيمته

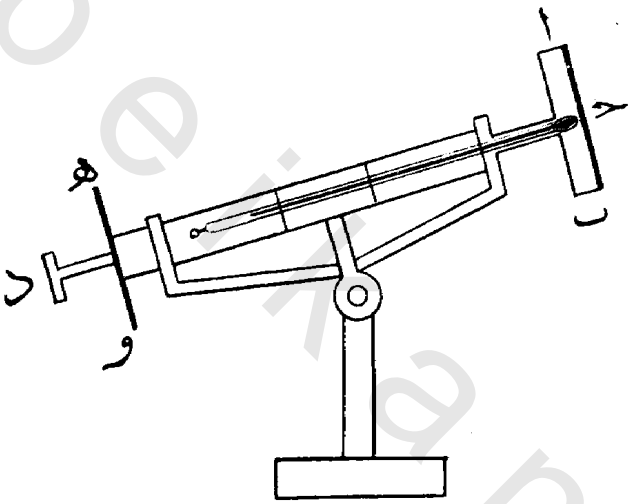
وتطبق قوانين الاشعاع لتعيين درجة حرارة الشمس باعتبارها جسما أسود تام السواد . ويتطلب تطبيق قانون ستيفان معرفة معدل الطاقة التى تنبعث من الشمس فى وحدة الزمن . وتسمى الطاقة الواقعة من الشمس عمودياً على وحدة المساحات من سطح الأرض فى الدقيقة (بعد تصحيح ما يمتص منها فى أثناء نفوذها فى الطبقة الهوائية المحيطة بالأرض) « الثابت الشمسى »[1]

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

(١) Solar constant

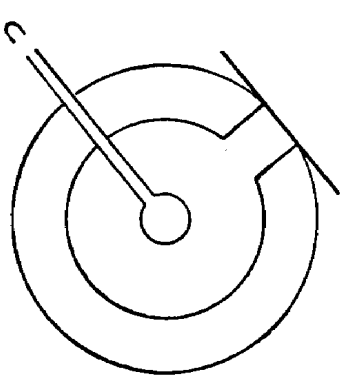
الطبقة الهوائية ، وما يحدث عن ذلك من النقص فيها

ولتعيين معدل ما تكتسبه وحدة المساحات من سطح الارض من طاقة الشمس ، تستخدم أجهزة خاصة تسمى « مقاييس الطاقة الشمسية »[١] ، وهى تتركب من مسعرات صغيرة الحجم يكسى 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 حـ بطبقة من السناج وجوانبه الاخرى مصقولة والمسعر مثبت بحيث يكون قابلا للدوران حول المحور حـ د بوساطة مقبض عند د فيتسنى بادارته 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 هيىء 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 ٣٤٧ )

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



( شكل ٣٤٨ )

(١) Pyroheliometers (٢) Pouillet (٣) Viollé

للشمس وبباطنه 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 مثلا ) 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 الارضية ، نرمز لمعامل انفاذ الهواء ( أنظر بند١١٢) بالحرف ـ وللطاقة الاصلية الواقعة على وحدة المساحات بالحرف س وللطاقة الواقعة على وحدة المساحات بعد نفوذها خلال سمك من الهواء قدره س ، بالرمز $س_١$ فيكون

$$س_١ = س . ـ^{-س} \quad . . . . . \quad (١)$$

فاذا اخترق الاشعاع سمكا من الهواء قدره ٢ س ورمزنا للطاقة الواقعة بعد ذلك على وحدة المساحات بالرمز $س_٢$ يكون

$$س_٢ = س_١ ـ^{-٢س} \quad (٢)$$

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

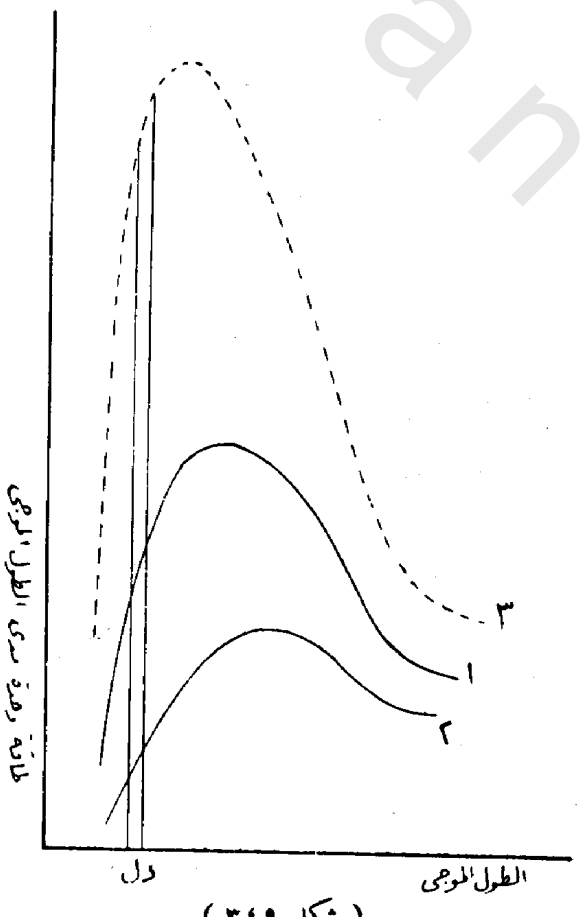
$$س = \frac{س_١^{٢}}{س_٢} \quad . . . . . \quad (٣)$$

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

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 فى 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 كبيرا من الاشعة ذات الطول الموجى القصير يستطير جانبا (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 « لانجلى » بحوثاً راعى فيها اختلاف امتصاص الهواء تبعاً لاختلاف نوع الاشعة أو طولها الموجى . واتخذ فى هذه البحوث محزوز الحيود لتحليل الاشعاع ، وبولومتراً لقياس طاقة الاجزاء المختلفة من الطيف عند نفودها 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 بحوثه ، فالمنحنى ( ١ ) يمثل توزع الطاقة فى طيف الشمس وهى عند السمت والمنحنى ( ٢ ) عند ما تميل عن السمت بمقدار ٦٠ درجة . فاذا أخذنا طولين موجيين ل ، ل + ء ل الفرق بينهما صغير ، فمساحة الشريط الضيق المنتهى عند المنحنى الأول يمثل طاقة الاشعاع المحصور طوله الموجى بين ل ، ل + ء ل



( شكل ٣٤٩ )

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 س$_{هـ}$ وللثانية بالرمز س$_{هـ}$ ، فالقيمة الصحيحة للطاقة اذا لم يكن هناك امتصاص تستخرج من المعادلة ( ٣ ) فبالرمز لها بالحرف س$_{هـ}$ ، يكون

$$\frac{\text{س}_{هـ}}{\text{س}_{هـ}} = \frac{\text{س}_{هـ}}{\text{س}_{هـ}}$$

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 توزع الطاقة فى حالة ما اذا لم يكن هناك هواء ينفذ خلاله الاشعاع . وفى هذه الحالة تكون المساحة الكلية المحصورة بين المنحنى ( ١ ) وبين المحور الافقى تمثل الطاقة الكلية التى تنفذ خلال السمك الاول ، والمساحة المحصورة بين المنحنى ( ٣ ) وبين المحور الافقى تميل 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 السمت

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 السمت مساوية ١,٨١ من السعر واذن يكون مقدار الطاقة الواقعة فى الدقيقة على السنتمتر المربع الواحد من سطح الارض اذا صحح الخطأ الحادث عن الامتصاص مساوياً

١,٥٧ × ١,٨١ = ٢,٨٤ من السعر

وتساوى هذا قيمة الثابت الشمسى

## ٤٤١ — تعيين درجة حرارة الشمس

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

$$٢,٨٤ \times ٤ \text{ ط } م^{٢}$$

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

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

والمقدار $\frac{م^{٢}}{س^{٢}} = ٤٦٠٠٠$ بالتقريب والمكافىء الميكانيكى للحرارة $٤,١٨ \times ١٠^{٧}$ أرجا للسعر ، اذن تكون الطاقة المتشعة من وحدة المساحات من الشمس فى الثانية الواحدة هى

$$\frac{٢,٨٤ \times ٤٦٠٠٠ \times ٤,١٨ \times ١٠^{٧}}{٦٠}$$

وطبقاً لقانون ستيفان يكون هذا المقدار مساوياً

$$٥,٧ \times ١٠^{-٥} \text{ ك}^{٤}$$

ودرجة حرارة الشمس المقدرة بهذه الكيفية توجد حوالى ٦٠٠٠ درجة مئوية ، و يلاحظ فى 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 تاماً فى درجة من الحرارة معينة ، فان هذه الدرجة تكون ٦٠٠٠ مئوية وتسمى درجة الحرارة المقدرة بهذه الكيفية « درجة الحرارة التقديرية للشمس »[١]

---

(١) Effective

obeikandl.com

# جداول تشمل بعض الثوابت الطبيعية الخاصة بالضوء

obeikandl.com

# جدول ( ١ )

معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم ( بالنسبة الى الهواء ) فى بعض المواد المألوفة

| المادة | معامل الانكسار | المادة | معامل الانكسار | المادة | معامل الانكسار |
|---|---|---|---|---|---|
| الاجسام الصلبة | | السوائل | | | |
| الجليد | ١,٣١ | الاثير الاثيلى | 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 الاثيلى | ١,٣٦٢ |
| الماس | ٢,٤١٧ | التربنتينا | ١,٤٧ | الكحول الاميلى | ١,٤١ |
| الميكا | ١,٥٦ — ١,٦٠ | الجلسرين | ١,٤٧ | الكحول المثيلى | ١,٣٣ |
| الياقوت | ١,٧٦ | زيت الارز(٢) | ١,٥١٦ | الكربون المكبرت | ١,٦٣٢ |
| | | زيت البرافين | ١,٤٤٠ | الكلوروفورم | ١,٤٤٩ |
| | | | | الماء(٥) | ١,٣٣٣ |

(١) أنظر جدول ٣ (٢) Cedar oil (٣) Cinnamon oil

(٤) Cloves oil (٥) أنظر جدول ٦

# جدول ( ٢ )

معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى بعض الغازات والابخرة

| المادة | معامل الانكسار | المادة | معامل الانكسار |
|---|---|---|---|
| الازوت | ١,٠٠٠٢٩٧ | الهليوم | ١,٠٠٠٣٥٠ |
| الاكسيجين | ١,٠٠٠٢٧٢ | الهواء | ١,٠٠٠٢٩١٨ |
| الايدروجين | ١,٠٠٠١٣٨٤ | بخار الماء | ١,٠٠٠٢٥ |

# جدول (٣)

## معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى الانواع المختلفة من الزجاج

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

obeikandl.com

# جدول ( ٤ )

## الأطوال الموجية للخطوط الطيفية الهامة لبعض المواد المالوفة

| العنصر | كيفية الحصول على الطيف | لون الخط | الطول الموجي مقيسا بالسنتيمتر |
|---|---|---|---|
| الارجون ( غاز ) | تفريغ كهربائى فى أنبوبة مخلخل ضغطها | برتقالى | ٦٠٣١ × ١٠$^{-٨}$ |
| | | أزرق | ٤٧٠٣ » » |
| | | » | ٤٢٥٩ » » |
| | | بنفسجى | ٤٢٠١ » » |
| | | » | ٤١٩٨ » » |
| | | » | ٤١٩٢ » » |
| | | » | ٤١٥٩ » » |
| الايدروجين (غاز) | تفريغ كهربائى فى أنبوبة مخلخل ضغطها | أحمر | ٦٥٦٣ » » |
| | | أخضر – أزرق | ٤٨٦١ » » |
| | | أزرق | ٤٣٤٠ » » |
| | | بنفسجى | ٤١٠٢ » » |
| البوتاسيوم | ادخال كلورور البوتاسيوم فى لهب مصباح بنزن | أحمر | ٧٧٠٢ » » |
| | | » | ٧٦٦٨ » » |
| | | بنفسجى | ٤٠٤٧ » » |
| | | » | ٤٠٤٤ » » |
| الثاليوم | ادخال كلوروم الثاليوم فى لهب مصباح بنزن | أخضر | ٥٣٥٠,٧ » » |
| الخارصين | شرارة كهربائية فى الهواء | أحمر | ٦٣٦٣,٧ » » |
| | | أزرق | ٤٩١٢ » » |
| | | » | ٤٨١٠,٥ » » |
| | | » | ٤٧٢٢,١ » » |

obeikandl.com

| العنصر | كيفية الحصول على الطيف | لون الخط | الطول الموجي مقيسا بالسنتيمتر |
|---|---|---|---|
| الزئبق | القوس الزئبق | أصفر | ٥٧٩٠,٧ × ١٠$^{-٨}$ |
| | | » | ٥٧٦٩,٦ » » |
| | | أخضر | ٥٤٦٠,٧ » » |
| | | بنفسجي | ٤٣٥٨,٣ » » |
| | | » | ٤٠٧٨,١ » » |
| | | » | ٤٠٤٦,٨ » » |
| الكادميوم | القوس الكهربائي | احمر | ٦٤٣٨,٥ » » |
| | | أخضر | ٥٠٥٨,٨ » » |
| | | أزرق | ٤٧٩٩,٩ » » |
| المغنزيوم | القوس الكهربائي | اصفر | ٥٥٢٩ » » |
| | | أخضر | ٥١٨٤ » » |
| | | » | ٥١٧٣ » » |
| | | » | ٥١٦٨ » » |
| الصوديوم | ادخال كلورور الصوديوم في لهب مصباح بنزن | اصفر | ٥٨٨٩,٩٦٥ » |
| | | » | ٥٨٩٥,٩٣٢ » |
| النحاس | القوس الكهربائي في الفراغ | اصفر | ٥٧٨٢,٢ » » |
| | | » | ٥٧٨٢,٠ » » |
| | | » | ٥٧٠٠ » » |
| | | أخضر | ٥٢١٨,٢ » » |
| | | » | ٥١٥٣,٣ » » |
| | | » | ٥١٠٥,٥ » » |
| الهليوم | تفريغ كهربائي في انبوبة مخلخل ضغطها | اصفر | ٥٨٧٥,٦ » » |
| | | أزرق | ٤٤٧١,٥ » » |
| | | بنفسجي | ٣٨٨٩ » » |

obeikandl.com

# جدول ( ٥ )

## الاطوال الموجية لخطوط فرنهوفر الرئيسية فى الطيف الشمسى

| الرمز الدال على الخط | | المادة المحدثة الامتصاص | الطول الموجى مقيسا بالسنتيمتر |
|---|---|---|---|
| ا | A | الاكسجين فى الهواء المحيط بالارض | ٧٦٦١ × ١٠$^{-٨}$ |
| ب | B | الاكسجين فى الهواء المحيط بالارض | ٦٨٦٧,٣ » » |
| ح | C | الايدرجين فى الشمس | ٦٥٦٢,٨ » » |
| د$_١$ | $D_1$ | الصوديوم فى الشمس | ٥٨٩٥,٩٣ » » |
| د$_٢$ | $D_2$ | الصوديوم فى الشمس | ٥٨٨٩,٩٧ » » |
| ه | E | الحديد فى الشمس | ٥٢٦٩,٥٦ » » |
| و | F | الايدروجين فى الشمس | ٤٨٦١,٣٧ » » |
| ر | G | الحديد فى الشمس | ٤٣٠٧,٩ » » |
| ح | H | الكلسيوم فى الشمس | ٣٩٦٨,٤ » » |
| ك | K | الكلسيوم فى الشمس | ٣٩٣٣,٦ » » |
| ل | L | الحديد والكربون فى الشمس | ٣٨٢٠,٤ » » |
| م | M | الحديد فى الشمس | ٣٧١٩,٩ » » |
| ن | N | الحديد فى الشمس | ٣٥٨١,٢ » » |
| س | O | الحديد فى الشمس | ٣٤٤١,٠ » » |
| | | الحديد فى الشمس | ٣٤٤٠,٦ » » |

# جدول (٦)

## معامل انكسار بعض الاطوال الموجية الهامة فى المواد المألوفة

| الطول الموجى مقيساً بالسنتيمتر | الماء درجة ٢٠ مئوية | ثانى كبريتور الكربون | | الكوارتز درجة ١٨ مئوية | | سبات اسلندا فى درجة ١٨ مئوية | | الفلوريت ١٨ مئوية | الملح الصخرى ١٨ مئوية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درجة الصفر | درجة ٢٠ مئوية | الشعاع المعتاد | الشعاع غير المعتاد | الشعاع المعتاد | الشعاع غير المعتاد | | |
| (أولا) ما دون الاحمر | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٤ | | | | ١,٤٦٥ | | | | ١,٤٠٩٧ | ١,٥٢١٨ |
| ٠,٠٠٠٣ | | | | ١,٤٩٩ | | | | ١,٤١٧٩ | ١,٥٢٤١ |
| ٠,٠٠٠٢ | | | ١,٥٨٤ | ١,٥٢١ | ١,٥٢٩ | ١,٦٢٥ | ١,٤٧٥ | ١,٤٢٣٩ | ١,٥٢٦٧ |
| ٠,٠٠٠١ | ١,٣٢٤٩ | | ١,٥٩٦٨ | ١,٥٣٠٠ | ١,٥٤٣٧ | ١,٦٤٣٦ | ١,٤٨٠١ | ١,٤٢٩٠ | ١,٥٣٢١ |
| (ثانياً) الطيف المرئى | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ | ١,٣٣٣٠ | ١,٦٤٣٦ | ١,٦٢٧٦ | ١,٥٤٤٢ | ١,٥٥٣٣ | ١,٦٥٨٤ | ١,٤٨٦٤ | ١,٤٣٣٨ | ١,٥٤٤٣ |
| (خط الصوديوم) | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٠٤٨٦١ | ١,٣٣٧١ | ١,٦٧١٣ | ١,٦٥٤٧ | ١,٥٤٩٧ | ١,٥٥٩٠ | ١,٦٦٧٨ | ١,٤٩٠٧ | ١,٤٣٧١ | ١,٥٥٣٤ |
| الاخضر الازرق فى طيف الايدروجين | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٠٤٣٤٠ | ١,٣٤٠٤ | | | ١,٥٥٤٠ | ١,٥٦٣٤ | ١,٦٧٥٥ | ١,٤٩٤٣ | ١,٤٣٩٦ | ١,٥٦١٢ |
| (أزرق فى طيف يد) | | | | | | | | | |
| (ثالثاً) ما فوق البنفسجى | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٠٣٦١٢ | ١,٣٤٧٤ | ١,٧٥٧٢ | ١,٧٣٨١ | ١,٥٦٣٤ | ١,٥٧٣٢ | ١,٦٩٣٢ | ١,٥٠٢٢ | ١,٤٤٥٣ | ١,٥٧٨٤ |
| (طيف الكادميوم) | | | | | | | | | |
| ٠,٠٠٠٠٢١٤٤ | ١,٤٠٤٠ | | | ١,٦٣٠٤ | ١,٦٤٢٧ | ١,٨٤٥٦ | ١,٥٥٩٨ | ١,٤٨٤٨ | ١,٧٣٢٢ |
| (طيف الكادميوم) | | | | | | | | | |

Qelkanal.com

## جدول ( ٧ )

الدوران النوعى لبعض المواد المألوفة فى درجة ٢٠ مئوية

| الطول الموجى مقيساً بالسنتيمتر | سكر القصب فى الماء | التربنتينا ( سائل نق ) | حامض التر تاريك فى الماء (تركيز ٤١ ٪) | النيكوتين ( سائل نق ) |
|---|---|---|---|---|
| ٠,٠٠٠٠٦٥٦٣ الخط الاحمر فى طيف الايدروجين | °٥٢,٩ | — °٢٩,٥ | °٧,٧٥ | — °١٢٦ |
| ٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ خط الصوديوم | °٦٦,٥ | — °٣٧ | °٨,٨٦ | — °١٦٢ |
| ٠,٠٠٠٠٥٣٥١ الخط الاخضر فى طيف الثاليوم | °٨١,٨ | — °٤٥ | °٩,٦٥ | — °٢٠٧,٥ |
| ٠,٠٠٠٠٤٨٦١ الخط الاخضر فى طيف الايدروجين | °١٠٠,٣ | — °٥٤,٥ | °٩,٣٧ | — °٢٥٣,٥ |

---

## جدول ( ٨ )

دوران مستوى الاستقطاب بفعل الكوارتز فى درجة ٢٠ مئوية

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

# جدول ( ٩ )

## الدوران المغناطيسى لبعض المواد المألوفة

| المـــادة | درجة الحرارة المئوية | ثابت فرديه مقيساً بالدقيقة بالنسبة الى ضوء لهب الصوديوم |
|---|---|---|
| الماء | درجة الصفر | + ٠٫٠١٣١١ |
| الماء | ٢٠ | + ٠٫٠١٣١٢ |
| الـكوارتز فى اتجاه عمودى على المحور | ٢٠ | + ٠٫٠١٦٦٤ |
| الزجاج (زجاج بنا الصخرى الـكثيف) | ١٨ | + ٠٫٠٨٨٨ |

obeikandl.com

obeikandl.com

# تمرينات

obeikandl.com

# الباب الأول

١ ــ اذا كانت نسبة قطر الشمس الى قطر القمر تساوى ٤٠٠ ووقعت الشمس والقمر والارض على استقامة واحدة ، وكان بعد الشمس عن الارض ٩٣ × ١٠$^{٦}$ ميلا وبعد القمر عن موضع الرصد على الارض ٢٣٨٠٠٠ ميلا ، فبين ما اذا كان كسوف الشمس الحادث حلقياً أو كلياً (حلقى)

٢ ــ وضعت شمعة موقدة ارتفاع لهبها ثلاثة سنتمترات على بعد عشرين سنتمتراً 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 ــ قطعة من الخشب عرضها سنتمتر وضعت رأسية بين لهب مصباح وبين حاجز أبيض رأسى ، وكان بعدها عن اللهب ٦٠ سنتمتراً وبعدها عن الحاجز ٤٠ سنتمتراً . فاذا كان عرض اللهب سنتمترين فأوجد عرض منطقة الظل الواقع على الحاجز ، ومدى امتداد منطقة شبه الظل عليه من أحد الجانبين (١$\frac{١}{٢}$ ، ٦)

٤ ــ 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 و بين العمود على سطحه ٦٠ درجة . أوجد النسبة بين شدتى الاستضاءة على سطحه فى الحالتين (٨ : ١)

٥ ــ مصباحان قوة اضاءة أحدهما ١٦ شمعة وقوة أضاءة الآخر ٢٥ شمعة والبعد 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

(أولا : بين المصدرين وعلى بعد $\frac{٢}{٥}$ ٢ متراً من الاول

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

٦ ــ مصدرا ضوء قوة اضاءة كل منهما شمعتان ، وضعا فى أحد جانبى فتومتر بنزن بحيث

كان أحدهما على بعد قدم عن قرص الفتومتر ، والآخر على بعد قدمين عنه . أوجد أين يجب أن يوضع مصدر قوته خمس شمعات لكى تختفى البقعة الدهنية ( ١,٤١٤ من القدم فى الجانب الآخر )

٧ — وضع مصباحان ا ، ب الأول على بعد ٦٠ سنتمتراً من قرص فتومتر بنزن وفى أحد جانبيه والثانى على بعد ٨٠ سنتمتراً وفى الجانب الثانى فوجد أن البقعة الدهنية قد اختفت ثم وضع لوح من الزجاج بين المصباح الثانى والفتومتر فوجد أنه يلزم ازاحة هذا المصباح بمقدار ١٠ سنتمترات لكى تختفى البقعة الدهنية . أوجد نسبة ما يعكسه اللوح من الضوء الواقع عليه

( $\frac{١٥}{١٤}$ )

# الباب الثانى

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 احدى مرآتين مستويتين تميل احداهما 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 التى ترى العين بها الصورة الحادثة بعد ثلاثة انعكاسات ( أولا ) وهى متجهة نحو احدى المرآتين ( ثانياً ) وهى متجهة نحو الاخرى

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

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

التى ترى العين بها كل واحدة منهما (مترات)

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

٧ — أثبت أن الشعاع الذى 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

{ اذا رمز للزاوية بين المرآتين بالحرف هـ وكانت منفرجة ولزاوية السقوط على الاولى بالرمز $ن_1$ فالشعاع المنعكس عن سطح الاول ينحرف عن مسيره الاول بزاوية قدرها ٢ (٩٠ — $ن_1$) وتصير زاوية سقوطه على الثانية $ن_2$ = (— $ن_1$ + هـ) فيعانى عند الانعكاس الثانى انحرافا آخر قدره

٢ (٩٠ + $ن_1$ — هـ)

اذن الانحراف الكلى = ٣٦٠ — ٢ هـ (ولا يتوقف على قيمة زاوية السقوط)

واذا كانت هـ = ٥٠ فان الانحراف يكون ٢٦٠ درجة }

٨ — من الطرق المتبعة لقياس زاوية ارتفاع نجم فوق الافق أن يرصد النجم رأساً بوساطة تلسكوب قابل للدوران حول دائرة رأسية مدرجة ، ويوضع على امتداد المستوى الرأسى للدائرة حوض به زئبق ثم ترصد بوساطة 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 سنتمتر على امتداد محور مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٤٠ سنتمتراً بحيث كان بعده عن المرآة

(أولا) ٨٠ سنتمتراً ، (ثانياً) ٣٠ سنتمتراً ، (ثالثاً) ١٠ سنتمترات . أوجد موضع

الصورة وارتفاعها فى كل حالة

(أولا : ٢٦ ٢/٣ وارتفاعها ١/٣ سم ، ثانياً : ٦٠ وارتفاعها ٢ سم ، ثالثاً : خلف المرآة وارتفاعها ٢ سم)

١٠ — وضع جسم ارتفاعه ٣ سنتمترات على امتداد محور مرآة محدبة نصف قطر تكورها ٦٠ سنتمتراً . أوجد موضع الصورة وارتفاعها عند ما يكون بعد الجسم عن المرآة ٤٥ سنتمتراً

( ١٨ سم خلف المرآة ، ١,٢ سم )

١١ — وضعت شمعة 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 البؤرى للمرآة اللازمة لذلك وأين يجب وضعها . ( البعد البؤرى ٤/٥ المتر وبعد الشمعة عن المرآة متر )

١٢ — مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٤٥ سنتمتراً يراد بوساطتها الحصول على صورة لجسم يكون طولها ثلاثة أمثال طول الجسم ، فكم يلزم أن يكون بعد الجسم عن المرآة ( أولا ) اذا كانت الصورة حقيقية ( ثانياً ) اذا كانت تقديرية

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

١٣ — مرآة مقعرة وأخرى محدبة وضعتا وسطحاهما العاكسان متواجهان ومحوراهما منطبقان والبعد بينهما ٤٠ سنتمتراً ، فاذا كان البعد البؤرى لكل منهما ١٠ سنتمترات ، ووضع فى منتصف البعد بينهما جسم ارتفاعه خمسة سنتمترات فأوجد موضع الصورة وارتفاعها عند ما تتكون الصورة بالانعكاس ( أولا ) عن سطح الاولى ثم الثانية و ( ثانياً ) عن سطح الثانية ثم الاولى

( أولا : بعد الصورة ٦ ٢/٣ خلف المحدبة وطولها ٤/٣ السنتمتر

، ثانياً : « « ١٢ ٨/١١ أمام المقعرة وطولها ٥/١١ من السنتمتر )

١٤ — وضع جسم على بعد ٢٤ سنتمتراً من مرآة مقعرة نصف قطر تكورها ٣٦ سنتمتراً ووضع عند مركز تكور المرآة المقعرة مرآة مستوية سطحها العاكس متجه نحو المقعرة وتميل على المحور بزاوية قدرها ٤٥ درجة . أوجد موضع الصورة الحادثة بالانعكاس عن سطح المقعرة ثم المستوية وارسم شكلا يوضح تكون هذه الصورة .

(تتكون الصورة على بعد من المركز مقيساً فى اتجاه عمودى على المحور قدره ٣٦ سنتمتراً)

١٥ — وضعت قطعة مستطيلة ضيقه من مرآة مستوية بين ابرة رأسية ومرآة محدبة بحيث كان البعد بين المرآتين ٨ سنتمترات والبعد بين المرآة المستوية والابرة ١٤ سنتمتراً . فظهرت الصورة الحادثة بالانعكاس عند سطح المستوية والصورة الحادثة بالانعكاس عند سطح المحدبة منطبقتين . أوجد البعد البؤرى للمرآة المحدبة ( ٨,٢٥ من السنتمتر )

١٦ — الزاوية التى يصنعها قطر الشمس عند مرآة مقعرة نصف قطر تكورها عشرة أمتار هى 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 فى اتجاه عمودى على سطحها . أوجد الازاحة الظاهرية الحادثة فى موضع الصحيفة مع العلم بأن معامل الانكسار فى الزجاج ١,٥ ( $1\frac{2}{3}$ سم )

٢ — ا ب حـ مثلث فيه الضلعان ا ب ، ب حـ متساويان وطول كل منهما ٤ سنتمترات وفيه زاوية ا ب حـ قائمة فاذا كان هذا المثلث مقطعاً عرضياً لمنشور ثلاثى قائم الزاوية من الزجاج ومعامل انكسار الضوء فيه $\frac{3}{2}$ وسقط شعاع من الضوء موازياً للوتر ا حـ على السطح ا ب وكانت نقطة سقوطه تبعد بمسافة سنتمتر من نقطة ا ، فارسم شكلا دقيقاً يبين مسير الشعاع عند نفوذه خلال المنشور

٣ — بين أن الشعاع الذى 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 الثانى

٤ — اذا نظر خلال لوح من الزجاج سمكه أربعة سنتمترات فى اتجاه عمودى على اللوح الى جسم يبعد عن السطح القريب منه بمقدار ثلاثة سنتمترات . فأوجد مقدار الازاحة الظاهرية

الحادثة فى موضع الجسم مع العلم بأن معامل الانكسار فى الزجاج $\frac{3}{2}$ ($1\frac{1}{2}$)

٥ — معامل انكسار الضوء فى الماس $\frac{5}{2}$ وفى الزجاج $\frac{3}{2}$ . أوجد معامل انكساره من الزجاج الى الماس وأوجد قيمة الزاوية الحرجة لهذين الوسطين

$(\frac{5}{3})$ ، $حا^{-1}(\frac{3}{5})$

٦ — غمر منشور أجوف من الزجاج مملوء بالهواء ، فى اناء يحتوى على الماء . ارسم شكلا يبين مسير شعاع من الضوء ينفذ خلال المنشور

٧ — اذا كانت زاوية سقوط شعاع على سطح لوح من الزجاج هى $ه$ وزاوية انكساره فيه هى $ر$ وسمكه $س$ فأثبت أن البعد بين الشعاع الساقط وامتداد الشعاع النافذ يساوى

$$\frac{س\ حا(ه - ر)}{حتا\ ر}$$

٨ — كرة من الزجاج نصف قطرها ٤ سنتمترات وعلى بعد من مركزها قدره سنتمتر توجد نقطة سوداء . أوجد الموضع الظاهرى لهذه النقطة اذا نظر اليها على امتداد القطر الذى تقع عليه مع العلم بأن معامل انكسار الضوء فى الزجاج $\frac{3}{2}$

($2\frac{2}{3}$ من أحد الجانبين ، $5\frac{5}{7}$ من الآخر)

٩ — فقاعة هوائية صغيرة فى 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 الحقيقى . مع العلم بأن $م = \frac{3}{2}$ ($1\frac{1}{2}$)

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 ($33\frac{1}{3}$)

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

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

١٣ — اذا غمرت العدسة المذكورة فى المثال السابق فى الماء وكان معامل انكسار الماء $\frac{4}{3}$ فهل تكون لامة أم مفرقة وكم يكون بعدها البؤرى ( لامة و بعدها البؤرى ١٢٠٠ سم )

١٤ — غمر مصباح كهربائى صغير فى 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 فى الهواء ( ٥ر١١ سم )

١٥ — يسقط شعاع من الضوء على وجه منشور ثلاثى وزاوية سقوطه ٦٠°. فاذا كان معامل انكسار الضوء فى المنشور ١,٦٤ فما هى أكبر قيمة لزاوية رأس المنشور تخول نفوذ الشعاع خلال المنشور ( ٦٠ درجة ، ٢٧ دقيقة بالتقريب )

١٦ — وضع جسم ارتفاعه ٤ سنتيمترات عموديا على محور عدسة لامة بعدها البؤرى ٤٠ سنتيمترا وعلى بعد من العدسه قدره

( أولا ) متر . ( ثانياً ) ٥٠ سنتيمتراً . ( ثالثاً ) ٢٠ سنتمتراً . أوجد فى كل حالة موضع الصورة وارتفاعها

[ ( أولا ) $\frac{2}{3}$٦٦ و $\frac{2}{3}$٢ ( ثانياً ) ٢٠٠ و ١٦ ( ثالثاً ) — ٤٠ و ٨ ]

١٧ — أين يكون موضع الصورة فى المسألة السابقة وكم يكون ارتفاعها اذا كانت العدسة مفرقة وبعد الجسم عنها ٥٠ سنتمتراً ( $\frac{2}{7}$٢٢ و $\frac{7}{1}$١ )

١٨ — وضعت شمعة موقدة على بعد ٤ أمتار من حائط ويراد بوساطة 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 سنتمتراً . وضع جسم على بعد قدره ٢٥ سنتمتراً منهما ، فأين يكون موضع صورته وما نوعها

( حقيقية على بعد ١٠٠ سم من العدستين )

٢٠ — عدستان متلاصقتان البعد البؤرى لاحداهما ٣٠ سنتمترا وللاخرى 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 $17\frac{11}{17}$ ونسبة طولها الى طول الجسم $\frac{12}{17}$

و ثانيا : « « $42\frac{6}{7}$ « « « $\frac{12}{7}$ )

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

( اولا : حقيقة على بعد ٧٠ سنتمتراً من الثانية والنسبة $\frac{14}{9}$

و ثانياً : « « $35\frac{5}{7}$ « « « « $\frac{4}{7}$ )

٢٢ — وضعت عدسة لامة بعدها البؤرى ٥٠ سنتمتراً على بعد ٣٠٠ سنتمتر من جسم ووضع فى 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 $\frac{3}{5}$

و ثانياً : تقديرية « « ١٢٠ سم من المفرقة « ٦ )

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

( الصورة منطبقة على المحور فى الجانب الثانى ورأسها بعيد عن العدسة وطولها $3\frac{1}{2}$ )

٢٤ — الضوء الصادر من نقطة ا موجودة على محور عدسة لامه يقع بعد نفوذه منها على سطح مرآة محدبة

وينعكس عنها . ويخترق العدسة عائدا مرة أخرى الى نقطة ا . فاذا كان بعد العدسة عن المرآة ١٠ سنتمترات وبعد ا 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 فى الماء الى بعدها البؤرى وهى فى الهواء (٤)

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

٢٧ — اذا كان بعد الجسم عن البؤرة الرئيسية الاولى لعدسة س وبعد صورته عن البؤرة الرئيسية الثانية س والبعد البؤرى للعدسة د فأثبت أن س س = د$^{2}$ (بصرف النظر عن الاشارات)

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

(٣٥,٢ من السنتمتر)

٢٩ — تكونت بوساطة عدسة لامة صورة حقيقية مكبرة لجسم ثم أزيحت العدسة (مع ثبوت الجسم والحاجز الذى تتكون عليه الصورة) بعيدا عن الجسم فتكونت فى موضع آخر لها صورة حقيقية مصغرة للجسم . فاذا رمز لطول الجسم بالحرف ا ولطول احدى الصورتين بالرمز ا$_{١}$ ، ولطول الأخرى بالرمز ا$_{٢}$ فأثبت ان ا = $\sqrt{\text{ا}_{١}\,\text{ا}_{٢}}$

٣٠ — فضض السطح المستوى لعدسة محدبة مستوية بحيث يعمل هذا السطح عمل مرآة فينعكس الضوء عنده انعكاساً داخلياً ووجد أن العدسة فى هـذه الحالة تعمل فى لم الاشعة المتوازية عمل مرآة مقعرة بعدها البؤرى ٣٠ سنتمترا فاذا كان معامل انكسار الضوء فى مادة العدسة $\frac{3}{2}$ فأوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة (٣٠ سم)

٣١ — اذا فضض السطح المستوى لعدسة محدبة مستوية بحيث ينعكس الضوء عنده انعكاساً داخلياً ، فان العدسة تعمل فى 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 فى 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 ) التى يصلح بها بصره وكم يكون أدنى مدى الرؤية الواضحة عند استعماله هذه العدسة

( — $\frac{2}{3}$ أى عدسة مقعرة ٦ ٣٠ سم )

٢ — اذا كان أدنى مدى الرؤية الواضحة بالنسبة الى رجل هو ٥٠ سنتيمتراً وأدناها للعين السليمة ٣٠ سنتمتراً فأجد درجة العدسة التى يصلح بها بصره ( + $\frac{4}{3}$ )

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

( مقعرة $5\frac{1}{7}$ بوصة )

٤ — رجل مصاب بطول النظر أدنى مدى الرؤية الواضحة بالنسبة اليه ٥٠ سنتمترا يرى أن أدنى مدى رؤيته الواضحة يصـير ٢٠ سنتمترا اذا استخدم نظاراته . أوجد البعد البؤرى لعدستى النظارة ( — $33\frac{1}{3}$ سم )

٥ — رجل لا يرى بوضوح الا اذا كان الجسم على بعد ١٥ سنتمترا 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 سنتمترا وان الرجل المذكور يلزم أن يرى الأشياء بوضوح فى الطرقات على بعد ٤ أمتار منه

( + ٣٠ سم ، + ١٥,٥ سم بالتقريب ، + ١٥ سم )

٦ — اذا كان البعد البؤرى لاحدى عدستى ميكرسكوب سنتمترا وللاخرى ٥ سنتمترات والبعد بينهما ٢٠ سنتمترا وكان أدنى مدى الرؤية الواضحة لشخص يستعمل هذا الميكرسكوب ٢٥ سنتمترا . فعلى اى بعد يجب أن يوضع الجسم وما درجة تكبير الميكرسكوب

( $1\frac{6}{19}$ من الشيئية ، ٨٩ )

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

٨ — منظار فلكى البعد البؤرى لشيئيته ٣٠ بوصة ولعينيته بوصتان. اوجد درجة تكبيره اذا نظر به الى جسم بعيد ( اولا ) عند ما تكون الصورة بعيدة ( ثانياً ) عند ما تكون على بعد ١٢ بوصة من عين الرائى . وأوجد البعد بين عدستيه فى الحالتين

( اولا : ١٥ ، ٣٢ ثانياً : ١٧,٥ ، $31\frac{1}{7}$ )

٩ — يستعمل تلسكوب فلكى لرؤية جسم على بعد ٢٠ ياردة ويهيأ 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 نظر فيه والعين غير متكيفة مع العلم بأن أدنى مدى الرؤية الواضحة ١٠ بوصات ( $8\frac{2}{23}$ ، ٦ )

١٠ — البعد البؤرى للمرآة المقعرة فى منظار نيوتن ١٠ أقدام ، فكم يلزم ان يكون البعد البؤرى للعينية اذا أريد أن تكون درجة تكبير المنظار ٢٥٠ ( $\frac{12}{250}$ من البوصة )

١١ — البعد البؤرى لشيئية تلسكوب متران ولعينيته ١٠ سنتمترات ، هيء لكى يرى به جسم بعيد والعين غير متكيفة ، ثم أزيحت العينية بعيدا عن الشيئية بمقدار سنتمترين فعلى

أى بعد منها يجب ان يوضع حاجز لكى تتكون عليه صورة حقيقية للجسم البعيد (٦٠)

١٢ — آلة تصوير عدستها اللامة بعدها البؤرى ١٠ بوصات. وضع خلف هذه العدسة اخرى مفرقة بعدها البؤرى ٥ بوصات وعلى بعد ٦ بوصات من الاولى . اين تتكون صورة جسم بعيد وما البعد البؤرى للعدسة المكافئة (٢٠بوصه، — ٥٠ بوصه)

١٣ — اذا رمز للبعد البؤرى لعدسة مكبرة بالحرف د ولأدنى مدى الرؤية الواضحة للعين بالحرف ء ولبعد العدسة عنها بالحرف ا فأثبت أن درجه تكبير العدسة تساوى ١ + $\frac{ء}{د}$

---

# البَابُ السَّابع

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

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 البؤرى لعدسة من الزجاج الصخرى يلزم تركيبها مع عدسة لامة من الزجاج التاجى بعدها البؤرى ٧٥ سنتمتراً وشدة تشتيتها للضوء ٠,٢١ بحيث تصير المركبة لا لونية وأوجد البعد البؤرى للعدسة المركبة مع العلم بأن شدة تشتيت الزجاج الصخرى للضوء ٠,٤٥ (٦ ١٦٠ ÷ ٧ — ٦ ١٨٠ ÷ ٨)

٤ — اذا علم أن شدة تشتيت الزجاج الصخرى للضوء ٠,٠٣ وشدة تشتيت الزجاج التاجى ٠,٠٥ ويراد تركيب عدسة لامة لا لونية بعدها البؤرى ٦٠ سنتمترا من عدستين من النوعين المذكورين من الزجاج فما البعد البؤرى لكل منهما (+ ٤٠ ، — ٢٤)

٥ ــ يراد تركيب عدسة لامة لا لونية بعدها البؤرى ٤٠ سنتمترا من عدستين رقيقتين متلاصقتين احداهما من الزجاج التاجى والاخرى من الزجاج الصخرى ونصف قطر تكور السطح المشترك بينهما ٢٥ سنتمترا . اوجد نصف قطر تكور السطح الآخر لكل منهما مع العلم بأن شدة تشتيت الزجاج التاجى ٠,٢١ والزجاج الصخرى ٠,٤٥ ومعامل انكسار الاول ١,٥ والثانى ١,٦ ( نصف قطر تكور اللامة من الزجاج التاجى $\frac{٢٦}{٤٣}$ ١٨

« « « المفرقة « « الصخرى $\frac{٦}{١٧}$ ٢٨٢ وهى مقعرة محدبة )

٦ ــ عدسة لامة لا لونية بعدها البؤرى ١٥٠ سنتمترا . تتركب من عدستين رقيقتين احداهما من الزجاج التاجى والاخرى من الصخرى . فاذا كانت العدستان متلاصقتين وبينهما سطح مشترك وكان السطح الآخر للعدسة المصنوعة من الزجاج الصخرى مستوياً فأوجد نصف قطر تكور كل من سطحى الاخرى مع العلم بأن معامل انكسار الزجاج التاجى ١,٥١ وشدة تشتيته ٠,٢١ ومعامل انكسار الزجاج الصخرى ١,٦٥ وشدة تشتيته ٠,٤٥

( ١١١,٤ ، ٦٤,٣٧ )

---

# الباب الثامن

١ ــ اذا كان البعد بين المرآة الثابتة والمرآة الدائرة فى طريقة فوكول لقياس سرعة الضوء هو ٣ كيلومترات وكانت الزاوية بين مسير الشعاع الواقع على المرآة الثانية من قبل المصدر وبين مسير العائد منها اليه هى ٧ درجات ، ١٢ دقيقة وكان عدد دورات هذه المرآة فى الثانية ٥٠٠ فأوجد سرعة الضوء ٣٠٠٠٠٠ كيلو متراً فى الثانية

٢ ــ اذا كان أطول فترة زمنية بين خسوفين متتاليين لأحد أقمار المشترى هو ٤٢ ساعة ، ٢٨ دقيقة ، ٥٦ ثانية وأقصرها ٤٢ ساعة ، ٢٨ دقيقة ، ٢٨ ثانية وكان نصف قطر فلك الارض حول الشمس ٩٢,٧ مليون ميل فأوجد سرعة الضوء .

( ٢٠١ الف ميل فى الثانية بالتقريب )

٣ ــ اذا كانت العجلة فى تجربة فيزو لقياس سرعة الضوء تحتوى على ٦٠٠ سن . وكان

البعد بين المحطتين ١٥ كيلو متراً . وكانت سرعة الضوء ٣ × ١٠^١٠ سنتمتراً فى الثانية فما عدد دورات العجلة فى الثانية اذا كان الضوء النافذ فى الفرجة بين سنين يلاقى عند عودته السن التالى لهذه الفرجة (٨½)

٤ — اذا فرض ان أحد أقمار المشترى يستغرق فى دورته حول المشترى ٤٠ ساعة وان سرعة الضوء ١٨٧٠٠٠ ميل فى الثانية وسرعة الارض فى فلكها حول الشمس ١٨ ميلا فى الثانية فأوجد أطول فترة تمضى بين خسوفين متتاليين (٤٠ ساعة و ١٣,٩ من الثانية)

---

# الباب التاسع

١ — اذا رمز لزاوية السقوط بالحرف ن وازاوية الانكسار بالحرف ن′ وكان الضوء يسقط من وسط أقل كثافة الى وسط اكبر كثافة ورمز لسرعته فى الاول بالحرف ع فأثبت أنه طبقاً لنظرية الدقائق تكون زيادة مركبة سرعة الدقائق الضوئية فى الاتجاه العمودى على السطح الحادث عنده الانكسار تساوى

$$\frac{ع\ حا\ (ن - ن')}{حا\ ن'}$$

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

٣ — أثبت انه وفقا لنظرية الدقائق يكون مسير الدقيقة الضوئية فى منطقة نفوذ السطح عند الانعكاس أو الانكسار قطع مكافىء

٤ — اثبت 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 الثنائى للحصول على هدب تداخل وكان البعد بين الفتحة والمستوى البؤرى للعينية ١٠٠ سنتمتر، ثم وضعت عدسة لامة بين المنشور الثنائى وبين العينية فأمكن بوساطتها الحصول فى موضع على صورتين للفتحة البعد بينهما ٤,٠٥ من المليمتر وفى موضع آخر على صورتين أخريين البعد بينهما ٢,٩٠ من المليمتر . فاذا كان الطول الموجى للضوء ٠,٠٠٠٥٩ فأوجد البعد بين كل هدبة وأخرى (٠,١٧ من المليمتر بالتقريب)

٢ — تكونت حلقات نيوتن بين سطح مستوى من الزجاج والسطح المحدب لعدسة من الزجاج، فكان قطر الحلقة الثالثة المظلمة سنتمترا . والضوء المستعمل ضوء لهب الصوديوم وطوله الموجى ٠,٠٠٠٥٨٩ من السنتمتر . فاذا كانت الزاوية بين مسير الضوء فى الغشاء الهوائى وبين العمود على سطحه هى ٦٠ درجة فأوجد نصف قطر تكور سطح العدسة (٧٠٧,٤ من السنتيمتر)

٣ — غشاء من الصابون مضاء بضوء ابيض ثبت فى وضع رأسى امام فتحة سبكترسكوب مستقيم وكانت الفتحة أفقية ، واخذ الغشاء يرسب بالتدريج فصف واشرح ما يرى فى اثناء ذلك خلال السبكترسكوب

٤ — أثبت ان اختلاف الطور بين الاهتزازتين فى الشعاعين المتداخلين فى مقياس جامن يساوى

$$\frac{٤ \text{ط م ء}}{\text{ل}} (\text{حتا}\, \text{ر}_١ - \text{حتا}\, \text{ر}_٢)$$

باعتبار ان م معامل انكسار اللوح ، ء سمك كل من اللوحين ، ل الطول الموجى للضوء ، ر$_١$ زاوية الانكسار فى احد اللوحين ، ر$_٢$ زاوية الانكسار فى الآخر

٥ — وضع فى مسير كل من الحزمتين المتداخلتين فى مقياس جامن لوح من الزجاج سمكه سنتمتر ، ومعامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فيه ١,٥٢٦ ، ومعامل تمدده بالحرارة ٠,٠٠٠٠٠٨ فلوحظ انه اذا ما ارتفعت درجة حرارة أحد اللوحين درجة واحدة مرت بمنتصف

مجال النظر ١٤ هدبة فأوجد قيمة ما يؤول اليه معامل الانكسار فى هذا اللوح مع العلم بأن الطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩ ( ١,٥٢٦٩ بالتقريب )

٦ — اذا كان الطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩٢ من السنتمتر وتكونت بوساطة المنشور الثنائى هدب التداخل فأوجد البعد بين هدبتين اذا علم أن البعد بين الفتحة والمنشور وبين المنشور والمستوى البؤرى للعينية يساوى كل منهما ٥٠ سنتمتراً والزاوية المنفرجة فى المنشور ١٧٩° ومعامل الانكسار فيه ١,٥ ( ٠,٠١٣٥ من السنتمتر )

٧ — اذا كان الطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩٧ وكان قطر احدى حلقتين متتاليتين من حلقات نيوتن هو سنتمتر وقطر الأخرى ١,٠١ من السنتمتر فأوجد نصف قطر تكور السطح المحدب للعدسة ( ٨٥,٢ من السنتيمتر )

٨ — أوجد سمك الطبقة الهوائية المحصورة بين لوحين من مادة شفافة معامل انكسار الضوء فيها $\sqrt{٢}$ اذا كان الضوء ذو الطول الموجى $٥ \times ١٠^{-٥}$ من السنتمتر يعدم فى الضوء المنعكس عند هذه الطبقة مع العلم بأن زاوية سقوط الضوء على سطح هذه الطبقة هى ٣٠ درجة ( ٠,٠٠٠٠٣٥٣٥ من السنتمتر او اضعاف هذا المقدار )

٩ — أوجد سمك غشاء الصابون الذى اذا سقط على سطحه ضوء ابيض وكانت زاوية السقوط ٤٥ درجة واختبر الضوء المنعكس عنه بوساطة سبكترسكوب ظهرت فى طيفه منطقة مظلمة ينطبق منتصفها على الموضع الذى يكون الطول الموجى فيه ٠,٠٠٠٠٦ من السنتمتر مع العلم بأن معامل انكسار محلول الصابون ٤/٣ ( ٠,٠٠٠٠٢٦٥ من السنتمتر او اضعاف هذا )

١٠ — اذا كان الغشاء الفتوغرافى فى طريقة لمان فى التصوير بالألوان جافاً يظهر لونه أزرق مقابلا الطول الموجى ٠,٠٠٠٠٤ من السنتمتر واذا كان مبلولا يظهر لونه احمر مقابلا الطول الموجى ٠,٠٠٠٠٧ من السنتمتر . اوجد النسبة بين سمكى الغشاء فى الحالتين ( ١,٧٥ )

# الباب الحادى عشر

١ — اوجد انصاف اقطار المناطق الثلاث الاولى فى لوح ذى مناطق يجمع أشعة ضوء لهب الصوديوم المتوازية فى نقطة تبعد عنه بمقدار مترين مع العلم بأن الطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩ من السنتمتر . ثم قدر البعد البؤرى بالنسبة الى الطول الموجى ٠,٠٠٠٠٥٤٦ من السنتمتر (١,٠٩ ، ١,٥٤ ، ١,٨٨ من المليمتر بالتقريب ، ٢١٦ سنتمتراً)

٢ — اذا فرض أن الطول الموجى للطرف الاحمر من الطيف ٠,٠٠٠٠٧ من السنتمتر وللطرف البنفسجى ٠,٠٠٠٠٤ من السنتمتر 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 ء وهيء المحزوز بحيث كان عمودياً على محور المجمع وأضيئت فتحته بضوء لهب الصوديوم ورمز لزاوية حيود الصورة الأولى الحادثة للفتحة بالحرف هـ . ثم ضيقت الفتحة حتى ظهر خطا الصوديوم منفصلين ورمز للبعد الزاوى بينهما بالرمز ء هـ . فأثبت أن الفرق فى الطول الموجى بين الخطين هو ء حتا هـ ء هـ

٤ — موجة كرية مركزها نقطة ا ونصف قطرها ن قسمت مناطق نصف دورية بالنسبة الى نقطة ب ، تبعد عن ا بمقدار ن + س أثبت أن مساحة المنطقة تساوى

$$\frac{ط\ ل\ ن\ س}{ن + س}$$

باعتبار أن ل رمز للطول الموجى ، س بعد المنطقة عن نقطة ب

٥ — أوجد عدد الخطوط التى يلزم أن يحتوى عليها محزوز يتيسر بوساطته أن يرى خطا الصوديوم منفصلين فى الطيف ذى المرتبة الثانيه اذا علم ان متوسط الطول الموجى للخطين ٠,٠٠٠٠٦ من السنتمتر والفرق بينهما ٦ × ١٠^-٨ من السنتمتر (٥٠٠ طبقاً لرايلى)

# الباب الثانى عشر

١ — اذا سقط ضوء لهب الصوديوم على سطح لوح من الزجاج بحيث تكون زاوية سقوطه ٥٨ درجة و١٨ دقيقة فان الضوء المنعكس يكون مستقطباً استقطاباً استوائياً . قدر معامل انكسار اللوح الزجاجى للضوء ( ١,٦٢ بالتقريب )

٢ — اذا كان معامل انكسار الشعاع المعتاد فى بلورة سبات اسلندا $\frac{5}{3}$ ونسبة المحور الأطول لمدور القطع الناقص من صدر الموجة الغير المعتادة الى المحور الاقصر تساوى $\frac{10}{9}$ وقطع منشور من سبات اسلندا زاوية رأسه ٣٠ درجة بحيث كان المحور البلورى موازياً لحرفه الحارف فأوجد زاوية انحراف كل من الشعاعين المعتاد وغير المعتاد عند سقوط الضوء عمودياً على احد وجهى المنشور ( المعتاد ٢٦ درجة و ٢٤ دقيقة — الغير المعتاد ١٨ درجة و ٣٦ دقيقة )

٣ — اذا علم ان معامل انكسار الشعاع المعتاد من ضوء لهب الصوديوم فى بلورة الكوارتز هو ١,٥٤٤٢ ومعامل انكسار الغير المعتاد ١,٥٥٣٣ . فأوجد النهاية الصغرى لزاوية انحراف كل منهما فى منشور من الكوارتز زاوية رأسه ٦٠° ومقطوع بحيث يكون محوره البلورى موازياً لحرفه الحارف ( المعتاد ٤١° و ٦ دقائق الغير المعتاد ٤١° و ٥٦ دقيقة )

٤ — اذا علم ان معامل انكسار الشعاع المعتاد فى 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 فى مستوى السقوط وكانت زاوية السقوط ٦٠ درجة فأوجد كلا من زاويتى الانكسار ( المعتاد ٣١° و ٣٠ دقيقة بالتقريب

الغير المعتاد ٢٨° و ٤٧ » » )

٥ — منشور روشون مركب من منشورين من الكوارتز مقطع 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 فى الكوارتز هو ١,٥٤٤٢ ومعامل انكسار الغير المعتاد هو ١,٥٥٣٣ والطول الموجى لضوء لهب الصوديوم ٠,٠٠٠٠٥٨٩٣ من السنتمتر فى الفراغ (٠,٠١٦ من المليمتر)

٢ — أذيب ٢٠ جراماً من مادة فعالة فى ٧٠ جراماً من الماء وكانت كثافة المحلول ١,٢١ من الجرام لكل سنتمتر مكعب ثم ملئت من المحلول أنبوبة طولها ٢٠ سنتمتراً 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 فى ثمانين سنتمتراً مكعباً من المحلول وملئت به أنبوبة طولها ٢٢ سنتمتراً ، 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 ، ٩,٠٥ 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 اليمينى بمقدار ٧٧,٥ من الدرجة عند وضع اللوح الاول و بمقدار ٤٩ درجة عند وضع الثانى و بمقدار 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 ٠,٠٠٣ من السنتمتر يتحول الاستقطاب الاستوائى الى استقطاب دائرى . فاذا كان الطول الموجى للضوء فى الهواء ٥٨ × ١٠$^{-٦}$ من السنتمتر وكان السمك المذكور هو أصغر سمك يلزم لذلك فأوجد الفرق بين معاملى انكسار الشعاعين فى البلورة ($\frac{٢٩}{٦٠٠٠}$)

# 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 Opties.
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 : Electricty 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 In troduction 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 |
|---|---|---|---|
| ٢ | ٢ | بها | منها |
| ٢ | ٢٣ | تمتد | تحد |
| ٢١ | ١٦ | طورة | صورة |
| ٣٢ | ٧ | ا | ب |
| ٣٧ | الهامش | vertual | Virtual |
| ١٠٠ | ١٤ | ا | ١ |
| ١٠٨ | الهامش | Eguivalent | Equivalent |
| ١٣٦ | ١١ | ب َ ١ تنعكس | ب ١ تنعكس |
| ١٤٧ | ٨ | السطح | فى السطح |
| ١٥٩ | الهامش | Coefficiene | Coefficient |
| ١٦٥ | ١ | بضح | بضع |
| ١٧١ | ٥ | يكاد يمتص الاشعة التى تثير | يمتص الاشعة التى تثير بشدة |
| ٢٠٧ | ٧ | $\frac{١}{ع}$ | $\frac{١}{ع_{ص}}$ |
| ٢٢٥ | ١٨ | ص | $ص^{٢}$ |
| ٢٢٦ | ١٣ | $+\frac{١}{ص}$ | $+\frac{١}{ص^{٢}}$ |
| ٢٣٨ | ٢١ | $< ح ا د +$ ✓ | $< ح ا_{١} د +$ ✓ |
| ٢٥٥ | ١٠ | لكل | كل |
| ٢٦١ | ٦ | ص | $ص^{١}$ |
| ٢٦٨ | الهامش | ا | ١ |
| ٢٧٤ | ٤ | ح | مب |
| ٢٧٧ | ١٦ | تستفرق | تستغرق |
| ٢٧٨ | ٤ | ا ب | ا ن |
| ٢٧٩ | ٢٢ | ١٤٩٧ | ١٨٤٩ |
| ٢٩٨ | ٦ | $ص^{١}$ | $ص_{١}$ |
| ٣٠٩ | ١٦ | وقد واعتبرنا | واعتبرنا |
| ٣٤٧ | ٨ | أفق | رأسى |
| ٣٥٤ | ٥ | للقضيبين | للقضيب |
| ٣٥٧ | ٩ | والفتحة | الفتحة |
| ٣٩٥ | ٣ | من كل | كل من |
| ٤٠٠ | ١٤ | اللوح ب | المرآة ح |
| ٤١٦ | ١٤ | الموجية | الموجة |
| ٤٢٨ | ١٥ | منها | $\frac{ن^{٣} ح^{٢}}{٢ س} + \frac{ن^{٢} ح^{٢}}{٢ س}$ |
| | | تحد | $= \frac{١}{٢} ل ح^{٢}$ |
| | | صورة | عند |
| ٤٣٧ | ١٦ | ب | ب ز |
| ٤٤٣ | ١٤ | Virtual | على |
| ٤٥٩ | ٢١ | ١ | ء |
| ٤٧١ | ٩ | Equivalent | نصف فرق |
| ٤٩٩ | ١٥ | ب ١ تنعكس | لنصف |
| ٤٩٩ | ٢١ | فى السطح | الوسط |
| ٥٢٠ | ١٨ | Coefficient | ✓ |
| ٥٢٤ | ١ | بضع | $ع_{ص}$ |
| ٥٢٧ | ١٧ | يمتص الاشعة التى تثير بشدة | $ع_{ط}$ |
| ٥٢٨ | ١٣ | $\frac{١}{ع_{ص}}$ | تمثل |
| ٥٣٥ | ١٥ | $ص^{٢}$ | $٣ \frac{ط}{٢}$ ، $٥ \frac{ط}{٢}$ |
| ٥٥٩ | ١٩ | $+\frac{١}{ص^{٢}}$ | يرسب |
| ٥٨٢ | ٢٢ | $< ح ا_{١} د +$ ✓ | الحلل |
| ٥٩١ | ٥ | كل | عقوبى |
| ٥٩٤ | ٥ | $\frac{١}{ص}$ | التحقق |
| ٥٩٧ | ١١ | ١ | العناصر |
| ٥٩٩ | ٤ | مب | خيطى |
| ٦٠٣ | ٢١ | تستغرق | Ffluger |
| ٦١١ | الهامش | ا ن | تكون |
| ٦٢١ | ٧ | ١٨٤٩ | .... (٢) |
| ٦٥١ | ٥ | $ص_{١}$ | ص |
| ٦٥١ | ٩ | واعتبرنا | ملك |
| ٦٥٢ | ٢ | رأسى | ملك |
| ٦٥٤ | ٤ | للقضيب | ٤ |
| ٦٥٦ | ٢ | الفتحة | يجمل |
| ٦٧٢ | ٤ | كل من | الرأس |
| ٦٧٢ | ٢٠ | المرآة ح | السطح |
| ٦٧٣ | ١٦ | الموجة | الضغط |
| ٦٧٣ | ١٧ | الضغط | السطح |

| وصوابه |
|---|
| $\frac{ن^{٣} ح^{٢}}{٣ س} + \frac{ن^{٢} ح^{٢}}{٢ ص}$ |
| $= \frac{١}{٢} ل ح^{٢}$ |
| عن |
| ب ١ ز |
| عن |
| ى |
| نصف فرق |
| لضعف |
| فى الوسط |
| ✓ ١ |
| $ع_{ط}$ |
| $ع_{ط}^{٢}$ |
| تميل |
| $٣ ط ٥ ط$ |
| يركب |
| المحلل |
| عقربى |
| للتحقق |
| المادة |
| خطى |
| Pfluger |
| تكون فيها |
| .... (١) |
| س |
| ملك ٢ |
| ملك . |
| ع |
| يجعل |
| الأس |
| الضغط |
| السطح |

obeikandl.com

# محتويات الكتاب


| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| | **الباب الأول** | |
| | **انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة وقانون التربيع العكسى** | |
| ١ | الضوء وامتداده من المرئى الى العين . | ١ |
| ٢ | انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة . | ١ |
| ٣ | الظلال . . . . . | ٢ |
| ٤ | الخسوف والكسوف . . . | ٤ |
| ٥ | الحصول على صور المرئيات بواسطة ثقب صغير | ٥ |
| ٦ | شدة الاستضاءة وقانون التربيع العكسى | ٦ |
| ٧ | تعلق شدة الاستضاءة على السطح بزاوية ميل الاشعة عليه . . . . . | ٧ |
| ٨ | قوى الاضاءة والمقابلة بينها . . | ٨ |
| ٩ | المصدر العيارى . . . . . | ١٠ |
| ١٠ | فتومتر بوجير . . . . . | ١١ |
| ١١ | فتومتر رمفرد . . . . . | ١٢ |
| ١٢ | فتومتر بنزن . . . . . | ١٣ |
| ١٣ | فتومتر جولى . . . . . | ١٥ |
| | **الباب الثانى** | |
| | **الانعكاس عند السطوح المستوية والسطوح الكرية** | |
| ١٤ | قانونا الانعكاس . . . . . | ١٦ |
| ١٥ | الاستدلال عملياً على صحة قانونى الانعكاس | ١٧ |
| ١٦ | الانعكاس عند السطوح الغير المصقولة . | ١٨ |
| ١٧ | موضع الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المستوى . . . . . | ١٩ |
| ١٨ | ايجاد موضع الصورة بطريقة عملية . | ٢٠ |
| ١٩ | الانقلاب الجانبى للصور الحادثة بالانعكاس عند السطوح المستوية . . . | ٢١ |
| ٢٠ | رسم مسير الاشعة التى ترى العين بها صورة حادثة بالانعكاس . . . | ٢٢ |
| ٢١ | تأثير انحراف السطح العاكس فى سير الشعاع المنعكس . . . . . | ٢٣ |
| ٢٢ | ايجاد الزاوية الواقعة بين سطحين مستويين عاكسين بطريقة ضوئية . | ٢٣ |
| ٢٣ | تعدد الصور بتعدد الانعكاسات — الانعكاس عند السطحين المتعامدين . | ٢٥ |
| ٢٤ | رسم مسير الأشعة التى ترى العين بها الصورة الحادثة فى حالة سطحين متعامدين | ٢٦ |
| ٢٥ | الانعكاس عند سطحين الزاوية بينهما ٤٥° | ٢٧ |
| ٢٦ | الانعكاس عند سطحين بينهما زاوية ما | ٢٩ |
| ٢٧ | الانعكاس عند السطحين المتوازيين . | ٣٢ |
| ٢٨ | الانعكاس عند السطح المنحنى . . | ٣٣ |
| ٢٩ | الانعكاس عند السطح الكرى المقعر . | ٣٣ |
| ٣٠ | البؤرة والبعد البؤرى فى حالة السطح المقعر | ٣٥ |
| ٣١ | الصور الحقيقية والصور التقديرية . | ٣٦ |
| ٣٢ | الانعكاس عند السطح الكرى المحدب | ٣٨ |
| ٣٣ | ايجاد صورة نقطة مضيئة ليست على المحور | ٤٠ |
| ٣٤ | ايجاد الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المقعر لجسم أمامه . . | ٤١ |
| ٣٥ | ايجاد الصورة التى تحدث بالانعكاس عند السطح المحدب لجسم أمامه . . | ٤٣ |
| ٣٦ | ايجاد نسبة طول الصورة الى طول الجسم — التكبير . . . . | ٤٤ |
| ٣٧ | الصور الحادثة بالانعكاس عند السطح الكرى : مواضعها وصفاتها . . | ٤٦ |
| ٣٨ | رسم مسير الأشعة التى ترى العين بها صورة تحدث بالانعكاس عن مرآة كرية | ٤٨ |
| ٣٩ | غلاف الاشعة المنعكسة عند السطح الكرى | ٤٩ |
| ٤٠ | الانعكاس عن محور القطع الناقص ومحور القطع المكافىء . . . | ٥٠ |

بند — صفحة

# الباب الثالث

## الانكسار عند السطوح المستوية والسطوح الكرية وخلال العدسات


٤١ قانونا الانكسار . . . . . ٥١
٤٢ الاستدلال عملياً على صحة قانوني الانكسار ٥٢
٤٣ معامل الانكسار . . . . . ٥٣
٤٤ الطريقة الهندسية لرسم الشعاع المنكسر ٥٥
٤٥ الانكسار خلال وسط محدود بسطحين مستويين متوازيين . . . . ٥٦
٤٦ قاعدة قبول العكس . . . . ٥٧
٤٧ نفوذ الضوء خلال أكثر من وسطين مختلفين . . . . . ٥٨
٤٨ الزاوية الحرجة والانعكاس الكلى . ٥٩
٤٩ بعض تطبيقات الانعكاس الكلى . . ٦٠
٥٠ تعيين مسير شعاع ينعكس انعكاساً كلياً : تعيينه بالتجربة . . . ٦١
٥١ طريقة الزاوية الحرجة لايجاد معامل انكسار السائل . . . . ٦٣
٥٢ طريقة وولاستون لايجاد معامل انكسار السائل . . . . ٦٥
٥٣ ايجاد موضع الصورة التى تحدث بالانكسار عند السطح المستوى . ٦٨
٥٤ تعيين موضع الصورة الحادثة عن الانكسار بطريقة عملية . . . ٦٩
٥٥ غلاف الاشعة المنكسرة . . . ٧١
٥٦ موضع الصورة الحادثة اذا نظر الى المرئى خلال لوح من مادة شفافة . . ٧٢
٥٧ الانحراف الحادث عن الانكسار خلال المنشور الثلاثى . . . . ٧٣
٥٨ النهاية الصغرى لزاوية الانحراف . ٧٤
٥٩ ايجاد النهاية الصغرى لزاوية الانحراف عمليا . . . . . ٧٦
٦٠ اثبات أن زاوية السقوط تساوى زاوية الخروج عند النهاية الصغرى للانحراف ٧٧
٦١ تقدير معامل انكسار مادة المنشور . ٧٩


بند — صفحة


٦٢ الصورة التى تحدث بالانكسار خلال المنشور عند ما يكون الانحراف عند نهايته الصغرى . . . . ٨٠
٦٣ شرط نفوذ الشعاع الضوئى خلال منشور ثلاثى . . . . . ٨١
٦٤ تعدد الصور فى المرآة السميكة . . ٨١


## الظواهر الجوية المألوفة التى لها علاقة بموضوع الانكسار


٦٥ الانكسار الفلكى . . . . . ٨٢
٦٦ الفجر والشفق . . . . . ٨٤
٦٧ السراب . . . . . ٨٦
٦٨ السراب المعكوس . . . . . ٨٧
٦٩ ظاهرة مرجانة . . . . . ٨٨


## الانكسار عند السطوح الكرية وخلال العدسات الرقيقة


٧٠ الانكسار عند السطح الكرى المقعر ٨٩
٧١ الانكسار عند السطح الكرى المحدب ٩١
٧٢ بؤرة السطح الكرى وبعده البؤرى . ٩٢
٧٣ الانكسار خلال العدسة الكرية الرقيقة ٩٣
٧٤ بؤرة العدسة وبعدها البؤرى . . ٩٤
٧٥ المركز البصرى وخاصته الطبيعية . ٩٦
٧٦ ايجاد صورة نقطة مضيئة ليست على المحور ٩٧
٧٧ ايجاد الصورة التى تتكون بوساطة العدسة المفرقة لجسم أمامها . . ٩٨
٧٨ ايجاد الصورة التى تتكون بوساطة العدسة اللامة لجسم أمامها . . ١٠٠
٧٩ ايجاد نسبة طول الصوره الى طول الجسم — التكبير . . . . ١٠١
٨٠ الصور التى تتكون بوساطة العدسة الرقيقة : مواضعها وصفاتها . . ١٠٢
٨١ رسم مسير الاشعة التى ترى العين بها صوره تحدث بوساطة عدسة . . ١٠٤
٨٢ الصور الحقيقية التى قد تتكون بالانعكاس عن سطح مرآه مستوية أو محدبة أو بفعل عدسة مفرقة . . . . ١٠٥


obeikandi.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٨٣ | القطعة المركبة من عدستين متلاصقتين . . . . . | ١٠٧ |
| ٨٤ | القطعة المركبة من عدستين منفصلتين — العدسة المكافئة . . . | ١٠٨ |


# الباب الرابع

## العين وآلات الابصار المألوفة


| | | |
|---|---|---|
| ٨٥ | العين . . . . . | ١١١ |
| ٨٦ | عمل العين وتكيفها . . . | ١١٢ |
| ٨٧ | العيوب الشائعة فى العيون . . | ١١٤ |
| ٨٨ | بعض الامور الهامة المرتبطة بالعين وبالابصار : — . . . . | ١٢٠ |
| | النقطة العمياء . . . . | ١٢٠ |
| | انبساط الأثر على الشبكية . . | ١٢١ |
| | استمرار تأثر الشبكية . . . | ١٢٢ |
| | كلل الشبكية . . . . | ١٢٢ |
| | النظر بالعينين الاثنتين ومجسمات الصور . . . . . | ١٢٣ |
| | الزاوية الجليدية . . . . | ١٢٤ |
| ٨٩ | العدسة المكبرة ودرجة التكبير . | ١٢٥ |
| ٩٠ | الميكرسكوب المركب ودرجة تكبيره | ١٢٦ |
| ٩١ | التلسكوب الفلكى ودرجة تكبيره | ١٢٨ |
| ٩٢ | ايجاد درجة تكبير كل من التلسكوب والميكرسكوب عملياً . . . | ١٣٠ |
| ٩٣ | التلسكوب الارضى . . . | ١٣٢ |
| ٩٤ | المنظار ذو المنشورين . . . | ١٣٣ |
| ٩٥ | تلسكوب غاليلى . . . . | ١٣٤ |
| ٩٦ | تلسكوب نيوتن . . . . | ١٣٦ |
| ٩٧ | تلسكوبات جريجورى وكاسجران وهرشل . . . . . | ١٣٧ |
| ٩٨ | البرسكوب أو منظار الغواصة . | ١٣٨ |
| ٩٩ | آلة التصوير الفتوغرافى . . | ١٣٩ |
| ١٠٠ | الفانوس السحرى والابدياسكوب | ١٤٠ |
| ١٠١ | الاقتالمسكوب أو جهاز فحص العين | ١٤٢ |
| ١٠٢ | ذات السدس . . . . | ١٤٣ |
| ١٠٣ | مقياس المدى . . . . | ١٤٤ |


# الباب الخامس

## التشتت والالوان


| | | |
|---|---|---|
| ١٠٤ | تجارب نيوتن فى تشتت الضوء . | ١٤٧ |
| ١٠٥ | الحصول على طيف نقى . . | ١٤٩ |
| ١٠٦ | السبكترسكوب أو مبين الاطياف . . . . . | ١٥١ |
| ١٠٧ | كيفية اعداد السبكترسكوب للاستعمال | ١٥٣ |
| ١٠٨ | اختبار الاطياف بوساطة السبكترسكوب . . . . | ١٥٥ |
| ١٠٩ | حدوث الالوان عن الامتصاص | ١٥٦ |
| ١١٠ | الالوان الحادثة عن خلط الدهانات | ١٥٨ |
| ١١١ | الالوان الحادثة عن الانعكاس . | ١٥٨ |
| ١١٢ | معامل الامتصاص ومعامل الانفاذ | ١٥٩ |
| ١١٣ | تغير لون بعض الاجسام الشفافة بتغير السمك — ظاهرة اللون المزدوج . . . . . | ١٦١ |
| ١١٤ | اختلاف الالوان بعضها عن الآخر | ١٦٢ |
| ١١٥ | مزج الالوان . . . . | ١٦٣ |
| ١١٦ | قياس زهو الالوان الطيفية البسيطة | ١٦٥ |
| ١١٧ | نظرية ينج وهلمهولتز فى الاحساسات الثلاثة . . . . . | ١٦٦ |
| ١١٨ | معادلات الالوان ومنحنيات الاحساسات الاساسية الثلاثة . | ١٦٧ |
| ١١٩ | الالوان المتتامة . . . . | ١٦٩ |
| ١٢٠ | عمى الالوان . . . . | ١٧٠ |
| ١٢١ | التصوير الفتوغرافى بالالوان . | ١٧١ |
| ١٢٢ | الطبع بالالوان . . . . | ١٧٦ |
| ١٢٣ | التلون — الظاهرة الفلورية . . | ١٧٧ |
| ١٢٤ | دراسة ظاهرة التلون عملياً . . | ١٧٩ |
| ١٢٥ | الوميض — الظاهرة الفسفورية | ١٨٠ |
| ١٢٦ | مقياس أجل الوميض — | |


obeikandl.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| | الفسفورسكوب . . . . | ١٨١ |
| ١٢٧ | تأثير تغير درجة الحرارة فى الوميض | ١٨٢ |
| ١٢٨ | اشعاع ما فوق البنفسجى . . | ١٨٣ |
| ١٢٩ | اشعاع ما دون الاحمر . . . | ١٨٥ |
| ١٣٠ | الاجهزة الاولى التى استخدمت لبيان الاشعاع الحرارى ودراسته . | ١٨٥ |
| ١٣١ | تشابه الاشعاع الحرارى والاشعاع الضوئى . . . . . | ١٨٧ |
| ١٣٢ | انفاذ الاجسام للاشعاع الحرارى . | ١٩٠ |


# الباب السادس

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


| | | |
|---|---|---|
| ١٣٣ | لوحة الأبصار . . . . | ١٩٢ |
| ١٣٤ | ايجاد البعد البؤرى للمرآة المقعرة . | ١٩٣ |
| ١٣٥ | ايجاد البعد البؤرى للمرآة المحدبة | ١٩٨ |
| ١٣٦ | ايجاد البعد البؤرى للعدسة اللامة | ٢٠٠ |
| ١٣٧ | ايجاد البعد البؤرى للعدسة المفرقة . | ٢٠٥ |
| ١٣٨ | ايجاد معامل انكسار مادة العدسة . | ٢٠٩ |
| ١٣٩ | ايجاد معامل انكسار السائل بتركيب عدسة منه . . . . . | ٢١٢ |
| ١٤٠ | ايجاد معامل الانكسار بوساطة السبكترومتر . . . . . | ٢١٣ |
| ١٤١ | طريقة أخرى لاعداد السبكترومتر للاستعمال . . . . . | ٢١٥ |
| ١٤٢ | ايجاد معامل الانكسار بوساطة الميكرسكوب المتحرك . . . | ٢١٦ |
| ١٤٣ | قياس قوة الاضاءة بوساطة الفتومتر الخافق . . . . . | ٢١٨ |
| ١٤٤ | قياس قوة الاضاءة بوساطة فتومتر لومر وبرودهان . . . . | ٢١٩ |



| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ١٤٥ | الزيغ الكرى الحادث عند الانعكاس عن السطوح الكرية . . . | ٢٢١ |
| ١٤٦ | الخطان البؤريان الحادثان بالانعكاس عند السطح الكرى . . . | ٢٢٢ |
| ١٤٧ | تعيين موضعى الخطين البؤريين للسطح الكرى العاكس . . . | ٢٢٤ |
| ١٤٨ | تقوس الصور المتكونة بالانعكاس عن المرايا الكرية . . . | ٢٢٦ |
| ١٤٩ | الخطان البؤريان للسطح الكرى الكاسر . . . . . | ٢٢٨ |
| ١٥٠ | تقوس الصور الحادثة بوساطة العدسة وتشوهها . . . . . | ٢٢٩ |
| ١٥١ | تقليل أثر الزيغ الكرى فى الصور التى تتكون بوساطة العدسة . | ٢٣٢ |
| ١٥٢ | تقليل أثر الزيغ الكرى فى عينية الميكرسكوب والتلسكوب . . | ٢٣٢ |
| ١٥٣ | القطعة العينية لهيجنز . . . . | ٢٣٣ |
| ١٥٤ | القطعة العينية لرمزدن . . . . | ٢٣٦ |
| ١٥٥ | السطح الذى لا زيغ له . . . . | ٢٣٨ |
| ١٥٦ | العدسة التى لا زيغ لها واستعمالها فى شيئية الميكرسكوب . . . | ٢٣٩ |


# الباب السابع

## الزيغ الكرى والزيغ اللونى وقوس قزح والعدسات السميكة

### الزيغ الكرى


| | | |
|---|---|---|
| ١٤٥ | الزيغ الكرى الحادث عند الانعكاس عن السطوح الكرية . . . | ٢٢١ |
| ١٤٦ | الخطان البؤريان الحادثان بالانعكاس عند السطح الكرى . . . | ٢٢٢ |
| ١٤٧ | تعيين موضعى الخطين البؤريين للسطح الكرى العاكس . . . | ٢٢٤ |
| ١٤٨ | تقوس الصور المتكونة بالانعكاس عن المرايا الكرية . . . | ٢٢٦ |
| ١٤٩ | الخطان البؤريان للسطح الكرى الكاسر . . . . . | ٢٢٨ |
| ١٥٠ | تقوس الصور الحادثة بوساطة العدسة وتشوهها . . . . . | ٢٢٩ |
| ١٥١ | تقليل أثر الزيغ الكرى فى الصور التى تتكون بوساطة العدسة . | ٢٣٢ |
| ١٥٢ | تقليل أثر الزيغ الكرى فى عينية الميكرسكوب والتلسكوب . . | ٢٣٢ |
| ١٥٣ | القطعة العينية لهيجنز . . . . | ٢٣٣ |
| ١٥٤ | القطعة العينية لرمزدن . . . . | ٢٣٦ |
| ١٥٥ | السطح الذى لا زيغ له . . . . | ٢٣٨ |
| ١٥٦ | العدسة التى لا زيغ لها واستعمالها فى شيئية الميكرسكوب . . . | ٢٣٩ |


### الزيغ اللونى


| | | |
|---|---|---|
| ١٥٧ | شدة تشتت الضوء . . . . | ٢٤٠ |
| ١٥٨ | المنشور الحارف غير المشتت والمنشور المشتت غير الحارف . . . | ٢٤٢ |
| ١٥٩ | الزيغ اللونى فى العدسات . . . | ٢٤٣ |


obeikan.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ١٦٠ | العدسة اللالونية . . . . | ٢٤٥ |
| ١٦١ | الزيغ اللونى فى القطعة العينية . | ٢٤٦ |

قوس قزح

| | | |
|---|---|---|
| ١٦٢ | القوس الابتدائية . . . . | ٢٥٠ |
| ١٦٣ | القوس الثانوية . . . . | ٢٥٤ |

العدسات السميكة

| | | |
|---|---|---|
| ١٦٤ | النقطتان العقديتان . . . . | ٢٥٦ |
| ١٦٥ | ايجاد بعد المركز البصرى عن سطحى العدسة . . . . . | ٢٥٧ |
| ١٦٦ | ايجاد بعد كل من النقطتين العقديتين عن سطحى العدسة . . . | ٢٥٩ |
| ١٦٧ | ايجاد البعد البؤرى للعدسة السميكة | ٢٦١ |
| ١٦٨ | قانون العدسة السميكة . . . | ٢٦٤ |
| ١٦٩ | ايجاد نسبة طول الصورة الى طول الجسم — تكبير العدسة السميكة . | ٢٦٨ |
| ١٧٠ | ايجاد الصورة التى تتكون بوساطة العدسة السميكة بطريقة الرسم . | ٢٧٠ |
| ١٧١ | ايجاد النقطتين العقديتين للعدسة عملياً | ٢٧١ |
| ١٧٢ | النقطتان الرئيسيتان للعدسة السميكة | ٢٧٣ |

## الباب الثامن

سرعة الضوء

| | | |
|---|---|---|
| ١٧٣ | كشف السرعة المحدودة للضوء . | ٢٧٤ |
| ١٧٤ | ظاهرة الزيغ الضوئى . . . | ٢٧٧ |
| ١٧٥ | طريقة فيزو لقياس سرعة الضوء . | ٢٨٢ |
| ١٧٦ | طريقة فوكول لقياس سرعة الضوء | ٢٧٩ |
| ١٧٧ | سرعة الضوء فى الماء . . . | ٢٨٥ |
| ١٧٨ | تجارب ميكلسن فى قياس سرعة الضوء | ٢٨٦ |

## الباب التاسع

المبادىء الاساسية فى النظرية الموجية

| | | |
|---|---|---|
| ١٧٩ | الحركة الدورية البسيطة . . . | ٢٨٧ |

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


obeikandl.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٢٠٤ | استنباط قانون العدسة بتطبيق قاعدة فرمات . . . . . | ٣٢٧ |
| ٢٠٥ | الطاقة الضوئية وشدة الاستضاءه | ٣٣٠ |
| ٢٠٦ | وجه الاختلاف بين الاضواء ذات الالوان المختلفة طبقاً للنظرية الموجية | ٣٣٢ |
| ٢٠٧ | نظرية الصلب المرن . . . | ٣٣٣ |
| ٢٠٨ | النظرية المغناطيسية الكهربائية . | ٣٣٥ |
| ٢٠٩ | سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية | ٣٣٧ |
| ٢١٠ | بعض النتائج الهامة للنظرية المغناطيسية الكهربائية . . . . . | ٣٤٠ |


# الباب العاشر

## التداخل


| | | |
|---|---|---|
| ٢١١ | شرح معنى التداخل . . . | ٣٤٣ |
| ٢١٢ | تجربة ينج لبيان التداخل في الضوء — وهدب التداخل . . . | ٣٤٥ |
| ٢١٣ | تقدير البعد بين الهدبة والأخرى . | ٣٤٩ |
| ٢١٤ | تجربة المرآة الثنائية . . . | ٣٥٠ |
| ٢١٥ | تجربة المنشور الثنائي . . . | ٣٥٢ |
| ٢١٦ | ايجاد الطول الموجي لضوء لهب الصوديوم بوساطة المنشور الثنائي . | ٣٥٣ |
| ٢١٧ | تجربة مرآة لويد . . . . | ٣٥٧ |
| ٢١٨ | شرط التداخل — التلاؤم بين المصدرين المتداخلين . . . | ٣٥٩ |
| ٢١٩ | النقط المتقابلة من المصدرين المتداخلين | ٣٦٠ |
| ٢٢٠ | هدب التداخل في الضوء الابيض | ٣٦١ |
| ٢٢١ | الحصول على الهدب اللالونية . . | ٣٦٣ |
| ٢٢٢ | تحول الهدب عن مواضعها . . | ٣٦٤ |
| ٢٢٣ | تحول الهدب الملونة عن مواضعها . | ٣٦٧ |
| ٢٢٤ | تطبيق التداخل في الضوء الأبيض لقياس الازاحة الحادثة في الهدب . | ٣٦٩ |
| ٢٢٥ | التداخل في الأغشية الرقيقة . . | ٣٧٠ |
| ٢٢٦ | أثر تعدد الانعكاسات الداخلية في التداخل في الاغشية الرقيقة . . | ٣٧٣ |
| ٢٢٧ | العلاقة بين اتساعات الاهتزازة في الأشعة المنعكسة والمنكسرة . . | ٣٧٤ |
| ٢٢٨ | التداخل التام في الأغشية الرقيقة . | ٣٧٦ |
| ٢٢٩ | هدب التداخل في الاغشية الرقيقة وألوان هذه الاغشية . . . | ٣٧٧ |
| ٢٣٠ | حلقات نيوتن . . . . . | ٣٨٠ |
| ٢٣١ | تطبيق حلقات نيوتن لتعيين الطول الموجي . . . . . | ٣٨٣ |
| ٢٣٢ | الحصول على هدب عريضه . . | ٣٨٦ |
| ٢٣٣ | تطبيق التداخل في الأغشية الرقيقة لاختبار استواء السطوح . . | ٣٨٨ |
| ٢٣٤ | التداخل في الالواح السميكة وهدب هايدنجر . . . . . | ٣٨٨ |
| ٢٣٥ | الموجات الضوئية المستقرة . . | ٣٩٠ |
| ٢٣٦ | طريقة لمان في التصوير الفتوغرافي بالالوان . . . . . | ٣٩٢ |
| ٢٣٧ | مقاييس التداخل — مقياس جامن | ٣٩٣ |
| ٢٣٨ | تطبيق مقياس جامن لتعيين معامل الانكسار لاسيما في الغازات . . | ٣٩٤ |
| ٢٣٩ | تطبيق مقياس جامن لتعيين سمك أغشية الصابون . . . . . | ٣٩٦ |
| ٢٤٠ | مقياس ميكلسن . . . . . | ٣٩٧ |
| ٢٤١ | كيفية اعداد مقياس ميكلسن للاستعمال | ٣٩٨ |
| ٢٤٢ | أمثلة من التطبيقات العامة لمقياس ميكلسن | ٤٠١ |
| ٢٤٣ | تطبيق مقياس ميكلسن لتحديد طول المتر . . . . . | ٤٠٣ |
| ٢٤٤ | تجربة ميكلسن ومورلى . . . | ٤٠٨ |


# الباب الحادي عشر

## الحيود


| | | |
|---|---|---|
| ٢٤٥ | المناطق النصف الدورية . . . | ٤١٢ |
| ٢٤٦ | الحاصل بفعل المناطق النصف الدورية | ٤١٤ |
| ٢٤٧ | تقدير اتساع الاهتزازة الحادثة في نقطة بفعل المناطق النصف الدورية | ٤١٦ |


obeikandi.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٢٤٨ | توضيح عمل المناطق النصف الدورية بالرسم . . . . . | ٤٢٠ |
| ٢٤٩ | تحقيق النتائج المتعلقة بالمناطق النصف الدورية عملياً . . . . . | ٤٢١ |
| ٢٥٠ | اللوح ذو المناطق . . . . . | ٤٢٤ |
| ٢٥١ | اللوح ذو المناطق يعمل عمل العدسة اللامة . . . . . | ٤٢٧ |
| ٢٥٢ | الصفة المميزة للوح ذى المناطق . | ٤٢٩ |
| ٢٥٣ | تقسيم صدر الموجة شرائط متوازية | ٤٣١ |
| ٢٥٤ | الحيود عند الحرف المستقيم الحاد لحاجز معتم . . . . . | ٤٣٣ |
| ٢٥٥ | تطبيق هدب الحيود الحادثة عن الحرف المستقيم لحاجز معتم لقياس الطول الموجى . . . . . | ٤٣٧ |
| ٢٥٦ | الحيود عند حاجز ضيق . . . | ٤٣٩ |
| ٢٥٧ | الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة . | ٤٤٠ |
| ٢٥٨ | تطبيق هدب الحيود عند الفتحة المستطيلة الضيقة لقياس الطول الموجى | ٤٤٣ |
| ٢٥٩ | تكاملا فرسنل وحلزون كرنو . | ٤٤٤ |
| ٢٦٠ | الطريقة الهندسية لرسم حلزون كرنو | ٤٤٩ |
| ٢٦١ | تطبيق حلزون كرنو لشرح ظواهر فرسنل فى الحيود . . . . . | ٤٥١ |
| ٢٦٢ | ( أولا ) الحيود عند الحرف المستقيم لحاجز . . . . . | ٤٥٢ |
| ٢٦٣ | ( ثانيا ) الحيود عند حاجز ضيق | ٤٥٣ |
| ٢٦٤ | ( ثالثاً ) الحيود عند فتحة مستطيلة ضيقة . . . . . | ٤٥٥ |
| ٢٦٥ | ظواهر فرونهوفر فى الحيود . . | ٤٥٦ |
| ٢٦٦ | الحيود بفعل فتحة مستطيلة ضيقة — شرح أولى . . . . . | ٤٥٦ |
| ٢٦٧ | تطبيق منحنى الاهتزازة لشرح الحيود بفعل الفتحة المستطيلة الضيقة . . | ٤٦٠ |
| ٢٦٨ | الحيود بفعل فتحتين مستطيلتين ضيقتين متوازيتين متساويتين . شرح أولى | ٤٦٤ |
| ٢٦٩ | محزوز الحيود وشرح عمله . . | ٤٦٥ |
| ٢٧٠ | نظرية المحزوز . . . . . | ٤٦٩ |

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٢٧١ | استنباط الحالات التى تبلغ فيها شدة الاستضاءة نهايتيها العظمى والصغرى | ٤٧٤ |
| ٢٧٢ | تشتت الضوء بوساطة المحزوز . | ٤٧٩ |
| ٢٧٢ | الأطياف المفقودة وأخيلة الاطياف . | ٤٨١ |
| ٢٧٣ | شدة تحليل المحزوز للضوء . . | ٤٨٢ |
| ٢٧٥ | تطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى . . . . . | ٢٨٤ |
| ٢٧٦ | طريقة أخرى لتطبيق محزوز الحيود المنفذ لايجاد الطول الموجى . . | ٤٨٦ |
| ٢٧٧ | المحزوز المستوى العاكس . . | ٤٨٧ |
| ٢٧٨ | المحزوز الكرى العاكس — شرح أولى لعمله . . . . . | ٤٨٩ |
| ٢٧٩ | طريقة رولند لاستعمال المحزوز المقعر العاكس . . . . . | ٤٩٢ |
| ٢٨٠ | الاشلون — الكتيبة المدرجة . | ٤٩٤ |
| ٢٨١ | شدة تشتيت الاشلون وشدة تحليله للضوء . . . . . | ٤٩٧ |
| ٢٨٢ | عدد الاطياف التى تتكون عادة بفعل الاشلون . . . . . | ٤٩٩ |


# الباب الثانى عشر

## الاستقطاب الاستوائى والانكسار المزدوج


| | | |
|---|---|---|
| ٢٨٣ | معنى الاستقطاب الاستوائى . . | ٥٠٢ |
| ٢٨٤ | الاستقطاب بالانعكاس . . . | ٥٠٤ |
| ٢٨٥ | بولارسكوب نورنبرج . . . | ٥٠٧ |
| ٢٨٦ | قانون بروستر . . . . . | ٥٠٨ |
| ٢٨٧ | تعيين اتجاه الاهتزازة فى الضوء المستقطب بالانعكاس . . . | ٥١٠ |
| ٢٨٨ | مجموعة الالواح والاستقطاب بالانكسار | ٥١١ |
| ٢٨٩ | قانون مالو . . . . . | ٥١٢ |
| ٢٩٠ | الانكسار المزدوج . . . . | ٥١٣ |
| ٢٩١ | استقطاب الشعاعين وتحديد اتجاه الاهتزازة فى كل منهما . . . | ٥١٥ |

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


# الباب الثالث عشر

## الاستقطاب الدائرى والاستقطاب الاهليلجى والاستقطاب الدورانى


| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٣١١ | الاستقطاب الدائرى والاستقطاب الاهليلجى . . . . . | ٥٤٨ |
| ٣١٢ | احداث الاستقطاب الدائرى والاستقطاب الاهليلجى . . . | ٥٤٩ |
| ٣١٣ | تقدير سمك اللوح الربع الموجى . | ٥٥٠ |
| ٣١٤ | اختبار الضوء المستقطب استقطاباً دائرياً . . . . . | ٥٥١ |
| ٣١٥ | اختبار الضوء المستقطب استقطابا اهليلجيا . . . . . | ٥٥٢ |
| ٣١٦ | تعيين اتجاه الاهتزازة المستديرة فى الاستقطاب الدائرى . . . | ٥٥٣ |
| ٣١٧ | معين فرسل . . . . . | ٥٥٦ |
| ٣١٨ | مكافىء بابنت . . . . . | ٥٥٧ |
| ٣١٩ | تطبيق مكافىء بابنت فى دراسة الاستقطاب الاهليلجى . . . | ٥٥٩ |
| ٣٢٠ | التداخل فى الضوء المستقطب استقطابا استوائيا . . . . . | ٥٦٢ |
| ٣٢١ | ماهية الاهتزازة فى الضوء الطبيعى | ٥٦٦ |
| ٣٢٢ | ألوان الالواح البلورية الرقيقة — حالة الاشعة المتوازية . . . . | ٥٦٨ |
| ٣٢٣ | ألوان الألواح البلورية الرقيقة — حالة الأشعة الملومة . . . | ٥٧٣ |
| ٣٢٤ | دوران مستوى الاستقطاب . . | ٥٧٦ |
| ٣٢٥ | قوانين دوران مستوى الاستقطاب | ٥٧٧ |
| ٣٢٦ | تشتت مستوى الاستقطاب . . | ٥٧٨ |
| ٣٢٧ | نظرية فرسنل فى دوران مستوى الاستقطاب . . . . | ٥٧٩ |
| ٢٢٨ | تحقيق نظرية فرسنل عمليا . . | ٥٨٠ |
| ٣٢٩ | منشور كورنو . . . . . | ٥٨١ |
| ٣٣٠ | دوران مستوى الاستقطاب بفعل السوائل والأبخرة . . . . | ٥٨٣ |
| ٣٣١ | الدوران النوعى والدوران الجزيئى | ٥٨٤ |
| ٣٣٢ | مقاييس السكر . . . . . | ٥٨٥ |
| ٣٣٣ | مقياس لوران — المقياس ذو اللوح النصف الموجى . . . . | ٥٨٦ |
| ٣٣٤ | المقياس ذو السكوارتز الثنائى . | ٥٩٠ |
| ٥٣٥ | ظاهرة فردای — الدوران المغناطيسى | ٥٩١ |
| ٣٣٦ | تعليل حدوث الدوران المغناطيسى | ٥٩٣ |


openkandil.com

| بند | | صفحة |
|---|---|---|
| ٣٣٧ | ظاهرة تاكر . . . . . | ٥٩٤ |
| ٣٣٨ | الانكسار المزدوج الحادث عن الانفعال . . . . . | ٥٩٦ |


# الباب الرابع عشر

## التحليل الطيفي ونظرية التشتت


| | | |
|---|---|---|
| ٣٨٩ | طرق الحصول على أطياف الاشعاع | ٥٩٩ |
| ٣٩٠ | ضروب أطياف الاشعاع . . | ٦٠٣ |
| ٣٩١ | معايرة السبكترومتر لقياس الأطوال الموجية . . . . . | ٦٠٤ |
| ٣٩٢ | سبكترومتر الطول الموجى . . | ٦٠٥ |
| ٣٩٣ | كيفية دراسة الامتصاص عمليا . . | ٦٠٧ |
| ٣٩٤ | ضروب أطياف الامتصاص . . | ٦٠٩ |
| ٣٩٥ | طيف امتصاص بخار الصوديوم | ٦١٠ |
| ٣٩٦ | طيف امتصاص الايدروجين . | ٦١١ |
| ٣٩٧ | خطوط فرونهوفر فى الطيف الشمسى | ٦١٣ |
| ٣٩٨ | سبكتروسكوب ما فوق البنفسجى | ٦١٤ |
| ٣٩٩ | طيف ما فوق البنفسجى . . . | ٦١٧ |
| ٤٠٠ | الأجهزة الدقيقة لبيان اشعاع ما دون الاحمر . . . . . | ٦١٨ |
| ٤٠١ | سكتروميتر ما دون الأحمر . . | ٦٢٠ |
| ٤٠٢ | طريقة روبنز لقياس الطول الموجى لفضالة الاشعاع . . . . | ٦٢٤ |
| ٤٠٣ | ظاهرة دبلر . . . . . | ٦٢٥ |
| ٤٠٤ | حدوث ظاهرة دبلر فى الضوء . | ٦٢٨ |
| ٤٠٥ | ظاهرة شتارك — دبلر . . | ٨٢٩ |
| ٤٠٦ | ظاهرة زيمن . . . . . | ٦٣٠ |
| ٤٠٧ | تطبيق النظرية الالكترونية لشرح ظاهرة زيمن فى أبسط حالاتها . | ٦٣٢ |
| ٣٠٨ | استنباط قيمة نسبة شحنة الالكترون الى كتلته من ظاهرة زيمن . . | ٦٣٥ |
| ٨٠٩ | ظاهرة زيمن فى خطوط الامتصاص الظاهرة المعكوسة . . . . | ٦٣٩ |
| ٤١٠ | ظاهرة زيمن فى الشمس . . . | ٦٤١ |
| ٤١١ | ظاهرة شتارك . . . . . | ٦٤٢ |
| ٤١٢ | المتتاليات الطيفية . . . . | ٦٤٣ |
| ٤١٣ | التشتت الشاذ وقانون كوندت . | ٦٤٦ |
| ٤١٤ | بيان التشتت الشاذ عمليا . . . | ٦٩٤ |
| ٤١٥ | النظرية الالكترونية فى التشتت . | ٦٤٩ |
| ٤١٦ | ايجاد معامل العازل وفقا للنظرية الالكترونية . . . . . | ٦٥٠ |
| ٤١٧ | ايجاد معامل انكسار الضوء وفقا للنظرية الالكترونية . . . | ٦٥٢ |
| ٤١٨ | شرح التشتت . . . . . | ٦٥٤ |
| ٤١٩ | الانعكاس والانكسار المقرونان بالتشتت الشاذ . . . . | ٦٥٨ |
| ٤٢٠ | معادلة كوشى وسلماير فى التشتت | ٦٥٩ |


# الباب الخامس عشر

## قوانين الاشعاع


| | | |
|---|---|---|
| ٤٢١ | العلاقة بين امتصاص الأجسام وابتعاثها وعكسها الاشعاع . . | ٦٦٢ |
| ٤٢٢ | شدة الامتصاص وشدة الابتعاث : تجربة رتشى . . . . . | ٦٦٤ |
| ٤٢٣ | نظرية التبادل . . . . . | ٦٦٦ |
| ٤٢٤ | قانون كرتشهوف . . . . | ٦٦٨ |
| ٤٢٥ | أمثلة من تطبيقات قانون كرتشهوف | ٦٧٠ |
| ٤٢٦ | الجسم التام الابتعاث التام الامتصاص : الجسم الاسود التام السواد . . | ٦٧١ |
| ٤٢٧ | قانون ستيفان . . . . . | ٦٧٢ |
| ٤٢٨ | الضغط الضوئى وبيانه عمليا . . | ٦٧٣ |
| ٤٢٩ | تعريفات : شدة الاشعاع والاشعاع الكلى وكثافة الطاقة . . . . . | ٦٧٧ |
| ٤٣٠ | اثبات قانون ستيفان ببرهان نظرى | ٦٨٠ |
| ٤٣١ | علاقة الحجم بدرجة الحرارة فى التغيرات النابتة الحرارة . . . . . | ٦٥٦ |
| ٤٣٢ | استنباط العلاقة بين الطول الموجى للاشعاع ودرجة الحرارة — قانون فين . | ٦٨٦ |


obeikandl.com

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


## جداول تشمل بعض الثوابت الطبيعية الخاصة بالضوء


| | | |
|---|---|---|
| جدول ( ١ ) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم (بالنسبة الى الهواء) فى بعض المواد المألوفة . . . . . | | ٧٠٨ |
| جدول ( ٢ ) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى بعض الغازات والابخرة | | ٧٠٨ |
| جدول ( ٣ ) : معامل انكسار ضوء لهب الصوديوم فى الأنواع المختلفة من الزجاج | | ٧٠٩ |
| جدول ( ٤ ) : الأطوال الموجية للخطوط الطيفية الهامة لبعض المواد المألوفة . | | ٧١٠ |
| جدول ( ٥ ) : الأطوال الموجية لخطوط فرونهوفر الرئيسية فى الطيف الشمسى | | ٧١٢ |
| جدول ( ٦ ) : معامل انكسار بعض الاطوال الموجية الهامة فى المواد المألوفة . . | | ٧١٣ |
| جدول ( ٧ ) : الدوران النوعى لبعض المواد المألوفة فى درجة ٢٠ مئوية . . | | ٧١٤ |
| جدول ( ٨ ) : دوران مستوى الاستقطاب بفعل الكوارتز فى درجة ٢٠ مئوية . | | ٧١٤ |
| جدول ( ٩ ) : الدوران المغناطيسى لبعض المواد المألوفة . . . . . | | ٧١٥ |


## تمرينات


| | | |
|---|---|---|
| الباب الأول . . . . . | | ٧١٨ |
| « الثانى . . . . . | | ٧١٩ |
| « الثالث . . . . . | | ٧٢٢ |
| « الرابع . . . . . | | ٧٢٧ |
| « الخامس . . . . . | | ٧٢٩ |
| « السادس . . . . . | | |
| « السابع . . . . . | | ٧٢٩ |
| الباب الثامن . . . . . | | ٧٣٠ |
| « التاسع . . . . . | | ٧٣١ |
| « العاشر . . . . . | | ٧٣٢ |
| « الحادى عشر . . . . . | | ٧٣٤ |
| « الثانى عشر . . . . . | | ٧٣٥ |
| « الثالث عشر . . . . . | | ٧٣٦ |
| مراجع الكتاب . . . . . | | ٧٣٧ |
| جدول اصلاح الخطأ . . . . . | | ٧٣٨ |


obeikandl.com

# ملحق

## بالمصطلحات الانكليزية الرياضية ومعانيها العربية الواردة في الكتاب

obeikandl.com

| | |
|---|---|
| Aberration of light. | الزيغ الضوئى |
| „ , chromatic, | الزيغ اللونى |
| | الزيغ الكرى الطولى |
| „ , longitudiual spherical, | |
| | الزيغ الكرى العرضى |
| „ , latetal Spherical, | |
| Absorption, selective, | الامتصاص الخاص |
| | معامل الامتصاص |
| „ , coefficient of, | |
| Accomodation. | التكيف |
| Achromatic lens. | عدسة لالونية |
| Amplitude. | الاتساع ( أو السعة ) |
| Analyser. | محلل |
| | النهاية الصغرى لزاوية الانحراف |
| Angle of minimum deviation. | |
| „ , critical, | الزاوية الحرجة |
| Antinode. | بطن |
| Aplanatic lens. | عدسة لازيغ لها |
| | السائل ( أو الرطوبة ) المائية |
| Aqueous humour. | |
| Astigmatic pencil. | حزمة لانقطية |
| Astigmatism. | اللانقطية |
| Axis of lens. | محور العدسة |
| | محور السرعة الشعاعية الواحدة |
| „ „ single ray velocity. | |
| | محور السرعة الموجية الواحدة |
| „ „ single wave velocity. | |
| „ , crystalline. | المحور البلورى |

| | |
|---|---|
| Axis, optical, | المحور الضوئى |
| Bench, optical, | لوحة الابصار |
| Biaxal crystal. | بلورة ثنائية المحور |
| Biprism. | منشور ثنائى |
| Black radiator, perfect, | الاسود تام الاشعاع |
| Bolometer | البولومتر |
| Bimirror. | مرآة ثنائية |
| Biquartz. | كوارتز ثنائى |
| Candle, standard, | الشمعة العيارية |
| | النقطتان الاساسيتان لعدسة |
| Cardinal points of Lens. | |
| Caustic curve. | الغلاف |
| Chromosphere | الكرة اللونية |
| | دائرة الغمة الصغرى |
| Circle of least Confusion. | |
| „ „ reference. | دائرة الاسناد |
| Collimator. | مجمع |
| Colour, body, | لون الجرم |
| „ surface, | لون السطح |
| Colours, complimentary, | ألوان متتامة |
| „ primary | ألوان أساسية |
| Compensator. | مكافئ |
| Cornea. | القرنية |

obeikandl.com

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, Farday ظاهرة فردای
„ , gas, الفعل الغازى
„ , Kerr ظاهرة كر
„ , Stark, ظاهرة شتارك
ظاهرة شتارك — دبلر
„ , Stark — Doppler
„ , Zeeman, ظاهرة زيمن
مدور القطع الناقص
Ellipsoid of revolution.
Epidiascope. ابدایاسكوب
Ether. الأثير

Fata Morgana, ظاهرة مرجانة
Fatigue. كلل
Filters, colour, مرشحات ضوئية
التلون — 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

obeikandl.com

أدنى مدى الرؤية الجلية
Least distance of distinct vision.
Lens, achromatic, عدسة لا لونية
„ , biconcave مقعرة الوجهين
„ , biconvex, محدبة الوجهين
„ , convergent, لامة
„ , crystalline, جليدية أوبلورية
„ , divergent, عدسة مفرقة
„ , equivalent, عدسة مكافئة
„ , erecting, عادلة
„ , 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. ميكرسكوب
ضوء ذو لون واحد
Monochromatic light.
Myopia. قصر النظر

تحول الهدب عن مواضعها
Fringes, displaciment 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 التربيع العكسى
Inverse square law.
Inversion, lateral, انقلاب جانبي
Iris. الحدقة ــ القزحية
Irradiation. انبساط الأثر
المنحنيات ذات اللون الواحد
Isochromatic curves.

obeikandl.com

Polariscope. بولارسكوب

الاستقطاب بالانعكاس
Polarisation by reflection.

الاستقطاب بالانكسار
„ by refraction.

„ of light. استقطاب الضوء

„ , angle of, زاوية استقطاب

مستوى الاستقطاب
„ , plane of,

الاستقطاب الدائرى
„ , circular,

الاستقطاب الاهليلجى
„ , elliptic,

„ , partial. الاستقطاب الجزئى

„ , rotary, الاستقطاب الدورانى

Polariser. المستقطب

Pole. القطب

Principal plane. المستوى الرئيسى

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

Nodal points. النقطتان العقديتان

Nodes. العقد

Opaque. معتم

جهاز فحص العين — أفثالموسكوب
Ophthalmoscope.

المادة ذات الفعل الضوئى — الفعالة
Optically active substance.

طريقة انطباق المواضع
Parallax, method of

Penumbra. شبه الظل

Period. الدور — المدة

Periodic motion. حركة دورية

Permeability. قبول الانفاذ المغناطيسى

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 موجى

Radiation, pressure of, ضغط الاشعاع

اشعاع مادون الاحمر

Radiations, infra - red,

اشعاع ما فوق البنفسجى

„ ultra - violet.

Radiometer. مقياس الاشعاع — الرديومتر

الفعل الاشعاعى ( أو الغازى )

Radiometric ( or gas ) action.

المقياس الدقيق للاشعاع — الرديوميكرومتر

Radiomicrometer.

Rain-bow, primary, قوس قزح الأبتدائية

„ „ secondary, قوس قزح الثانوية

Range-finder مقياس المدى

Ray, extraordinary, شعاع غير معتاد

„ ordinary. شعاع معتاد

انتشار الضوء فى خطوط مستقيمة

Rectilinear propagation of light.

Reflection, multiple, الانعكاس المتعدد

„ , selective, الانعكاس الخاص

„ , total, الانعكاس الكلى

Refraction, index of, معامل الانكسار

الانكسار الفلكى

„ , astronomical,

„ , double, الانكسار المزدوج

الانكسار المخروطى الخارجى

„ , external conical.

الانكسار المخروطى الداخلى

„ , 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 مستوى الاستقطاب

Rotation of plane of polarisation.

„ , magnetic, الدوران المغناطيسى

„ , molecular, الدوران الجزيئى

„ , specific, الدوران النوعى

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 أوالدقيقة

Series, second subordinate or sharp

Sextant. ذات السدس

Spectrograph. مصور الاطياف

سبكترومتر الطول الموجى

Spectrometer, wave length,

معايرة السبكترومتر

„ , calibration of,

obeikandl.com

مبين الأطياف — سبكترسكوب Spectroscope.
الطيف المفقود Spectrum, absent,
طيف الامتصاص „ ,absorption,
طيف شريطى „ ,band or fluted,
خيال طيفى „ ,ghost,
طيف خطى „ , line,
طيف عيارى „ , normal,
طيف شمسى „ , solar,
النقطة العمياء Spot, blind,
النقطة الصفراء „ yellow,
كلف الشمس Spots, solar,
حلزون كورنو Spiral, Cornu,
مجسمات الصور Stereoscopes.
انفعال Strain.
اجهاد Stress.

التلسكوب Telescope.
النقبة المحسوسة Tint of passage.
نظريه التبادل Theory of exchange.
» الاضافة „ „ relativity.
» الدقائق „ ,corpuscular,
نظرية الصلب المرن „ , elastic solid,
النظرية المغناطيسية الكهربائية „ , electro-magnetic,

النظرية الالكترونية Theory, electron,
» الموجية „ , wave,
نظرية الكم „ , quantum,
الكهربائية الحرارية Thermo-electricity,
الترموبيل Thermopile.
ترموسكوت هوائى فرقى Thermoscope, differential air,
معامل الانفاذ Transmission, coefficient of,

لمافوق الميكرسكوب Ultra-microscope
الظل Umbra.
بلورة أحادية المحور Uniaxal crystal.

سرعة شعاعية Velocity, ray,
سرعة موجية Velocity, wave,
منحنى الاهتزازة Vibration curve.
اهتزازة قسرية „ , forced,
اهتزازة طبيعية „ , natural,
الزاوية الجليدية — زاوية الرؤية Vision, angle of
استمرار التأثر أو الرؤية „ persistance of
الرطوبة الزجاجية ( السائل الزجاجى ) Vitreous humour

صدر الموجة Wave front.
الطول الموجى „ length.

obeikandl.com

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wave motion. | حركة موجية | Wave transverse, | موجة عرضية |
| „ suface. | سطح الموجة | Wavelet. | مويجة |
| „ , cylinderical, | موجة اسطوانية | | |
| „ , longitudinal, | » طولية | Zone-plate. | لوح ذو مناطق |
| „ , plane, | » مستوية | | مناطق نصف دورية |
| „ , spherical, | » كرية | Zones, half-period | |

* دار الكتب المصرية *
قسم التسجيل والتواصل

obeikandl.com