

عنوان الكتاب : كتاب المحركات الحرارية

المؤلف : وليم ربر ( ترجمة كامل اسكندر ، يوسف العارف )

سنة النشر : ١٩٣٠

رقم العهدة : د ٥٩٧٤

الـ ACC : ١١٩٢٢

عدد الصفحات : ٣٨٣

رقم الفيلم : ١٢

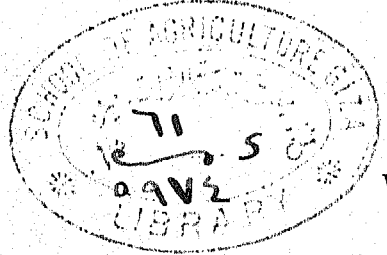
٤٥٠٤٠٤  
٦٤١/٤٠٤٥

وزارة المعارف العمومية

٤٨  
١

١- المحركات الحرارية  
٢- المحركات البخارية  
كتاب

# المحركات البخارية



تأليف  
وليم ريبز  
WILLIAM RIPPER  
٤٠٤٠٤٠٤  
٦٤١/٤٠٤٥  
٥٩٧٤/٢٢

ترجمه ونشره قلم الترجمة العالمية ونشر الكتب بالادارة

راجعه و صححه حضرات :

كامل اسكندر	6	يوسف العارف
دكتوراه في فلسفة الهندسة الميكانيكية		أستاذ علوم في الهندسة الميكانيكية
من جامعة برمنجهام ، ومدرس بمدرسة		من جامعة ليلاز ، ومدرس بمدرسة
الهندسة الملكية بالجزيرة		الفنون والصناعات ببولاق

حقوق الطبع محفوظة لوزارة المعارف

الطبعة الثانية  
بالمطبعة الأميرية بالقاهرة  
١٩٣٠

## مباحث كتاب المحركات الحرارية

صفحة

- الفصل الأول : مقدمة ، الحرارة وطبيعتها وتأثيراتها ، درجة الحرارة ، الترمومترات ، الحرارة النوعية ، درجة الحرارة المطلقة ... .. ١
- الفصل الثاني : وحدة الحرارة ووحدة الشغل ، القدرة الحصانية ، المكافئ الميكانيكي للحرارة ... .. ٨
- الفصل الثالث : نقل الحرارة ، التشعع ، التوصيل ، الانتقال ... .. ١٣
- الفصل الرابع : تسليط الحرارة على الأجسام ، تسليط الحرارة على الغازات ، ضغط الهواء ، الضغط المطلق ، تسليط الحرارة على الماء ، الغليان ، تكاثف البخار ، الفراغ ، البلسومتر ومحرك نيوكمن الجوى ... .. ١٧
- الفصل الخامس : عمل الحرارة في تكوين البخار ، الشغل الذى يعمل به البخار أثناء التكوّن على الضغط المنخفض والضغط العالى ، جودة البخار ، الحرارة التى ينفذها البخار الى المكثف ، الحرارة المحسوسة ، الحرارة الكامنة ، الحرارة الكلية للتبخير ... .. ٢٩
- الفصل السادس : البخار المشبع ، جدول خواصه ، تسخين الماء فى وعاء مغلق ، درجة حرارة المخاليط ، ماء التكثيف ... .. ٤١
- الفصل السابع : الارتباط بين ضغط الغازات وحجمها ، منحى القطع الزائد ... .. ٤٦
- الفصل الثامن : الشغل التمددى ، الشغل الناتج من استعمال البخار تمديدا ، الضغط الخلفى ، الضغط المتوسط ، القدرة الحصانية البيانية ، أمثلة تبين وجه الاقتصاد فى الشغل التمددى للبخار ، حد التمدد المفيد للبخار ، الخلوص فى الاسطوانة ، التكثيف فى الاسطوانة ... .. ٥٢
- الفصل التاسع : المحرك البخارى ، المحركات غير المكثفة ، تفصيلات المحرك ، الاسطوانة ، بطانة الاسطوانة ، قيص البخار ، صمام أمن الاسطوانة ، حنفيات تصفية الاسطوانات ، المكابس ، سرعة المكبس ، حيز المكبس ، سيقان المكبس ، الطربوش والقباقيب ، ذراع التوصيل ، الأوضاع النسبية للمكبس ووزر المرفق ... .. ٧٧

صفحة

٩٨	الفصل العاشر : الصمام المنزلق ، الشفة والتقدم وزاوية التقدم ، الصمام المكبسي ، الصمام المنزلق ذو البابين ، وضع الصمام المنزلق ، الاكستريكات ، جهاز عكس الحركة ، حركة الوصلة ... ..
١١١	الفصل الحادى عشر : جهاز التوزيع اختراع كورلس ... ..
١١٧	الفصل الثانى عشر : المرافق وأعمدة الادارة ، الضغط فى اتجاه المماس على زر المرفق ، وصلات المحاور ، الجزء المرتكز من المحاور فى الكراسى ، الكراسى ...
١٢٥	الفصل الثالث عشر : المكثفات ، المكثف بالاختلاط ، الطلبات الهوائية ، المكثف السطحي ، جهاز قياس الفراغ ، الطلبات ... ..
١٤٢	الفصل الرابع عشر : المنظر ، منظم وت ، منظم بورتير ، الحدافات ، محرك القاطرة ، ترتيبه وتركيبه ... ..
١٥٩	الفصل الخامس عشر : المين ... ..
١٦٥	الفصل السادس عشر : المحركات المركبة ومقارنتها بالمحركات ذات الاسطوانة الواحدة ، شرح المحرك المركب ذى الاسطوانتين ... ..
١٧٦	الفصل السابع عشر : أنواع المحركات المركبة ، محرك ولف ، توزيع البخار ، مجال درجة الحرارة فيها ، توزيع الجهود فيها ، المحرك ذو القابلة ، توزيع البخار ، المحركات ذات التمدد الثلاثى والرباعى ، الاقتصاد الناشئ من استعمال المحركات المركبة
١٩٥	الفصل الثامن عشر : المراجل ، مقاومة الأوعية الاسطوانية ، أوصاف المراجل ، مرجل كورنش ، مرجل لانكشير ، المرجل الرأسى ، المراجل البحرية ، الموفر ، مرجل القاطرة ، سطح التسخين فى المواسير ، المراجل ذات مواسير الماء ، الحمصات ، صمامات الأمن ، تقسيم الرافعة ... ..
٢٣٦	الفصل التاسع عشر : الفرن ... ..
٢٥١	الفصل العشرون : توليد البخار ... ..
٢٥٥	الفصل الحادى والعشرون : حرق الوقود ... ..
٢٧٣	الفصل الثانى والعشرون : مذكرات عملية على العناية بالمحركات والمراجل ، التفريش السنوى على المحركات والمراجل ... ..
٢٧٨	الفصل الثالث والعشرون : الطورين البخارى ... ..
٣٠٩	الفصل الرابع والعشرون : محركات الاحتراق الداخلى ... ..
٣٣١	ملحق ، أسئلة وتمارينات ... ..

## بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على سيدنا محمد  
وسائر الأنبياء والمرسلين ، وعلى آلهم وصحبه أجمعين .

## المحركات الحرارية

### الفصل الأول

#### مقدمة عن المحركات البخارية

ان الغرض من دراسة البخار واستعملاته هو معرفة الأحوال التى تؤدى الى  
أحسن جودة حتى يمكن الحصول على أعظم قدر من العمل النافع من المحرك  
البخارى وملحقاته باستهلاك أقل ما يمكن من الوقود .

ولفهم القواعد التى يبنى عليها توليد البخار واستعماله باقتصاد سنبحث  
الموضوعات الآتية حسب ترتيبها :

( ١ ) الحرارة .

( ٢ ) البخار .

( ٣ ) المحركات البخارية .

( ٤ ) المراجل (القسزانات)

## الحرارة - طبيعتها وتأثيراتها

إذا سخن رطل من الماء البارد في وعاء مغلق الى أن يصير الماء دافئا فمع تغير درجة حرارته فان وزنه لا يتغير واذا استمر التسخين الى أن يتحول الماء كله الى بخار بشرط عدم نفاذ شيء منه الى الخارج فان مجموع وزن البخار يبقى مساويا لوزن الماء .

فواضح اذن أن الحرارة التي أحدثت هذه التغيرات ليس لها وزن وعلى ذلك لا يمكن أن تكون جسما ماديا وكان يظن فيما مضى أنها نوع من سائل خفي يسيل من أجسام حارة الى أجسام أبرد منها إلا أن هذه النظرية أصبحت غير مقبولة فقد وجد أن الحرارة يمكن توليدها الى حد غير محدود من أجسام باردة بمجرد حك بعضها ببعض .

ويمكن رفع درجة حرارة قطعة من الحديد البارد الى درجة الحرارة الحمراء بالطرق وكذلك يحرق منشار النجار بسرعة أو أزيميل الصانع أو قلم المخرطة عند احتكاك أحدها بالشيء الجارى فيه العمل ولو أنها تكون جميعا باردة في أول الأمر .

وقد أذاب السيرهمفري ديفي<sup>(١)</sup> قطعتين من الثلج بحك احدهما بالأخرى واستنتج من ذلك أن السبب المباشر لظاهرة الحرارة هو الحركة . وهذا هو الرأي المقبول الآن عموما عن طبيعة الحرارة .

ومع ذلك فاننا نعلم أن بعض الأشياء يمكن أن تكون حارة بدون حركة ظاهرية فيها . وعلى ذلك اذا كانت الحرارة هي حركة فلا بد أن الحركة توجد في أجزاء الجسم ولكنها صغيرة جدا بحيث لا ترى .

(1) Sir Humphry Davy

والمفروض أن جميع الأجسام تتركب من أجزاء دقيقة تسمى بالجزيئات<sup>(١)</sup> متماسكة بعضها مع بعض بالجاذبية المتبادلة أو الالتصاق وهذه الجزيئات في حالة هيجان مستمر أو اهتزاز وكلما كان الجسم أكثر سخونة كانت اهتزازات جزيئاته المكونة له أقوى وفي الأجسام الصلبة تكون الاهتزازات محدودة المقدار فاذا تعدت الاهتزازات هذا الحد بسبب زيادة الحرارة فانها تكفي للتغلب على الالتصاق حتى تستطيع الجزيئات أن تتحرك بسهولة وانطلاق وبذلك يصير الجسم الصلب سائلا ومع استمرار الحرارة يشتد انفصال الجزيئات ويغلب الالتصاق غالبا تاما فتتطاير الجزيئات في جميع الاتجاه ويصير السائل حينئذ غازا .

أما الضغط الذي يحدثه الغاز على السطح الداخلي للاناء الحاصل له فناشئ من تصادم الجزيئات بجوانب الاناء وكلما اشتدت الحرارة كان الاصطدام أقوى واذا يكون الضغط أعظم وهذا هو الحال في داخل مرجل (قزان) البخار . فاذا كان جزء من الاناء الشامل للبخار قابلا للحركة فواضح أنه يتحرك الى الخارج وهذا ما يحصل لمكبس المحرك البخارى .

فنرى مما تقدم ان الحرارة هي نوع من الطاقة وأن الحرارة والشغل الآلى أو الميكانيكى كلاهما قابل للتحويل أحدهما الى الآخر وسنوضح أنه توجد علاقة مضبوطة ثابتة بين الحرارة والشغل .

## درجة الحرارة

تدل درجة حرارة جسم على حالة ذلك الجسم من حيث الحرارة أو البرودة أو شدة حرارته .

ويجب التمييز بين درجة حرارة الجسم ومقدار الحرارة التي فيه مثلا اذا غمسنا كأسا في دلو مملوء بالماء ثم أنرحناه فان درجة الحرارة في كليهما تكون واحدة إلا أن كمية الحرارة تختلف بنسبة وزن الماء بهما .

(1) Molecules

وواضح كذلك أن  $212 - 32 = 180$  ف تشغل المسافة بعينها التي تشغلها  $100$  س أو  $80$  س .

فنتج ان  $180$  س =  $100$  ف

$\therefore 1$  س =  $\frac{180}{100}$  ف

$\frac{9}{5}$  ف =  $1$  س

وكذلك  $180$  ف =  $100$  س

$1$  ف =  $\frac{100}{180}$  س =  $\frac{5}{9}$  س

ومن ذلك نحصل على القاعدتين الآتيتين :

لتحويل درجات فرنهيت الى درجات سنتيجراد أو مئيتية يطرح  $32$  من عدد الدرجات ثم يضرب باقي الطرح في  $5$  ثم يقسم حاصل الضرب على  $9$  .

(مثال ذلك) لتحويل  $158$  ف الى درجات مئيتية .

$$158 - 32 = 126 \quad \frac{126}{9} = 14 \text{ س}$$

أو لتحويل درجات مئيتية الى درجات فرنهيت يضرب العدد في  $9$  ويقسم

حاصل الضرب على  $5$  ثم يضاف الى الخارج  $32$

(مثال ذلك) حوّل  $70$  س الى درجات ف

$$70 \times \frac{9}{5} + 32 = 158 \text{ ف}$$

ويمكن بيان الارتباط بين درجات فرنهيت والدرجات المئيتية كما يأتي :

$$100 \text{ س} = (180 - 32) \text{ ف}$$

$$100 \text{ س} = 148 \text{ ف}$$

أو بالعكس

وكذلك يرى الطالب من (شكل ٢) أن  $180$  ف تشغل المسافة التي

تشغلها  $80$  س بالضبط وإذا  $1$  ف =  $\frac{180}{80}$  س =  $\frac{9}{4}$  س

وكذلك بما أن  $100$  س =  $80$  ف فتكون  $1$  س =  $\frac{4}{9}$  ف

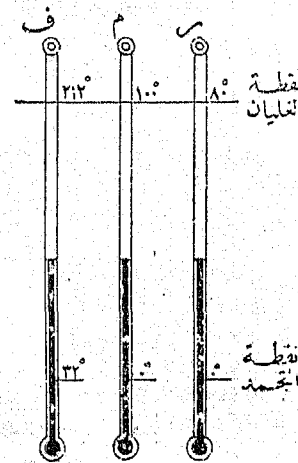
وتستعمل الترمومترات لبيان درجة الحرارة ويكون ذلك بارتفاع أو انخفاض عمود رفيع من الزئبق في قناة أنبوبة رفيعة تنتهي من الأسفل بمستودع صغير يحتوي على كمية من الزئبق — فإذا سخن الترمومتر فإن الزئبق يتمدد أو يزيد حجماً فيرتفع العمود الذي في قناة الأنبوبة وبالعكس إذا برد الترمومتر فإن الزئبق ينكمش أو ينقص حجمه وبذلك يقصر العمود أو يهبط ويتصل بالترموتر مقياس مدرج بالأرقام بحيث أن أقل تغير في درجة الحرارة يتعين من تحرك سطح العمود المذكور فيمكن اكتشافه بسهولة .

ولتدرج المقياس يوضع الترمومتر في ثلج على وشك الذوبان ثم تعلم النقطة التي يهبط بها الزئبق في الساق وتسمى هذه النقطة درجة الجليد ثم يوضع في ماء مغلي تحت الضغط الجوي ويعلم مستوى العمود الزئبقي كذلك وتسمى نقطة الغليان فالمسافة التي بين هاتين العلامتين تقسم في مقياس فرنهيت الى  $180$  قسماً ودرجة متساوية وفي مقياس سنتيجراد تقسم المسافة الى  $100$  جزء أو درجة متساوية وفي مقياس رومور تقسم المسافة بعينها الى  $80$  جزء أو درجة . ويستعمل المهندسون الانجائز في الغالب مقياس فرنهيت ويظهر من الرسم الآتي ان الفرق بين الترمومترات المختلفة ليس في ارتفاع الزئبق بل في مقياس الدرجات التي يبين منها مقدار الارتفاع .



(شكل ١)

ويظهر من الشكل أن التقسيمات أو التدرجات معالجة كما يأتي :



	درجة الغليان	درجة الجليد
فرنهيت	212	32
سنتيجراد أو مئيتية	100	0
رومور	80	0

شكل ٢



## الفصل الثاني

### وحدة الحرارة ووحدة الشغل

لا بد من وجود وحدة حرارية لقياس كميات الحرارة كما يُحتاج لوحدة القياس الطولى كالقدم والبوصة لقياس الأبعاد أو الرطل أو الطن لتقدير الأثقال .  
فوحدة الحرارة هي مقدار الحرارة اللازمة لرفع حرارة رطل من الماء  $1^{\circ}$  ف  
عند ما يكون الماء في أعظم كثافته أى عند درجة  $39^{\circ}$  الى  $40^{\circ}$  ف .

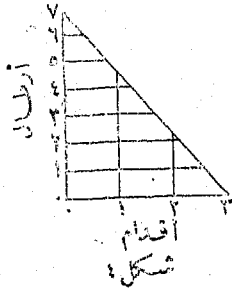
ولكن الأمر المهم عند المهندس هو تحويل الحرارة الى شغل وعلى ذلك سنبحث فيما هو المفهوم من الشغل وكيفية قياسه والعلاقة بين الحرارة والشغل .

فالمفهوم من لفظة شغل في علم الميكانيكا هو التغلب على مقاومة في مسافة ومقدار الشغل الذى يعمل يقاس بالمقاومة المتغلب عليها مضروبة في المسافة التى حصل التغلب فيها وتقاس المقاومة بالرطل والمسافة بالقدم .

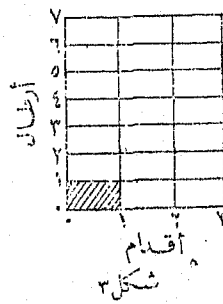
فمثلا اذا رفع جسم يزن  $7$  أرطال الى ارتفاع  $3$  أقدام فتكون المقاومة وهى  $7$  أرطال مضروبة في المسافة التى يتغلب عليها فيها أى  $3 \times 7$  أقدام مساوية الى  $21 = 3 \times 7$  قدم رطل من الشغل وعلى ذلك فلا يقاس الشغل بالرطل ولا بالقدم بل بحاصل ضرب الاثنين فتكون وحدة الشغل هى الشغل الذى يبذل في رفع رطل ارتفاعا رأسيا قدره قدم واحد ويسمى قدم رطل .

ولما كان الفعل ورد الفعل متساويين ومتضادين فيمكننا أن نعتبر القوة التى تتغلب على المقاومة فيقاس الشغل الناتج عن قوة بشدة القوة مضروبة في المسافة التى سلطت فيها تلك القوة بحيث يكون القياس في اتجاه القوة . وبناء على ما تقدمت في المثال السابق فقوة  $7$  أرطال تغلبت على المقاومة الناشئة عن الثقل في مسافة  $3$  أقدام فأدت شغلا قدره  $21 = 3 \times 7$  قدم رطل .

ولما كانت وحدة الشغل هى حاصل ضرب عددين فيمكن بيانها بمساحة وهذا مهم لأننا نقصد فيما يلى تقدير الشغل الذى يعمله محرك بواسطة مساحة شكل بياني فاذا أخذنا  $\frac{1}{8}$  بوصة على خط للدلالة على الأرتال و  $\frac{1}{4}$  بوصة على خط عمودى عليه للدلالة على الأقدام فان وحدة الشغل تبين بالمستطيل الصغير المظلل ويبين الواحد والعشرون قدم رطل المذكورة في المثال السابق بالمستطيل كله (شكل ٣) .



شكل ٤



شكل ٣

ولنفرض كذلك أن الثقل المرفوع في الحالة السابقة هو وعاء يحتوى على  $7$  أرطال من الرش الصغير وأن الرش ينفذ من ثقب في الوعاء بانتظام أثناء رفعه بحيث انه عند الوصول الى ارتفاع قدره  $3$  أقدام لا يبقى بالوعاء رش ما فيمكن بيان هذه النتيجة أيضا بالرسم (شكل ٤) حيث يبين الثقل الذى يتناقص من  $7$  أرطال الى صفر بقطر مائل من  $7$  الى خط الصفر للثقل مع صرف النظر عن ثقل الوعاء .

وهنا أيضا يستخرج مجموع الشغل من مساحة الشكل وهو واضح أنه مسا الى المسافة وقدرها  $3$  مضروبة في متوسط الثقل  $= 3 \times \frac{7+0}{2} = 10.5$  أو نصف القدر المبين في الحالة السابقة .

ويلاحظ أن وحدة الشغل ليس لها علاقة بالزمن المستغرق لأن مقدار الشغل الذى يبذل لرفع الثقل واحد لا يتغير سواء حصل ذلك في ثانية أو في ساعة .



وقدرة أى عامل تقاس بالسرعة التى يمكنه بها أداء الشغل وتتوقف على مقدار الشغل الذى يعمل فى وحدة الزمن .

ووحدة القدرة التى اتخذها المهندسون هى قدرة الحصان وتمثل شغلا قدره ٣٣٠٠٠ قدم رطل يعمل فى الدقيقة الواحدة ولتلاحظ اضافة عبارة "فى الدقيقة الواحدة" ملاحظة خاصة .

$$\text{الشغل المبذول} \\ \text{الزمن بالدقائق} = \text{وحدات الشغل الذى يعمل فى الدقيقة الواحدة} .$$

$$\text{القدرة الحصانية المبذولة} = \frac{\text{الشغل المبذول}}{٣٣٠٠٠ \text{ الزمن بالدقائق}} \quad 6$$

والطاقة تعرف بأنها "القدرة على عمل الشغل" فعند ما تسلط الحرارة على الماء فانها تعطى البخار الناتج قدرة على عمل شغل مثل دفع المكبس من أحد طرفى الاسطوانة للطرف الآخر ضد مقاومة واذا أخذنا حالة القاطرة مثلا نجد أن طاقة الحرارة التى فى فرن المرجل قابلة لأن تتحول الى طاقة تحريك القطار .

فاذا وضعت الفرامل على القطار المتحرك فان الطاقة التحركية تتحول الى حرارة فيتطاير الشرر من العجلات والقضبان ويقف القطار .

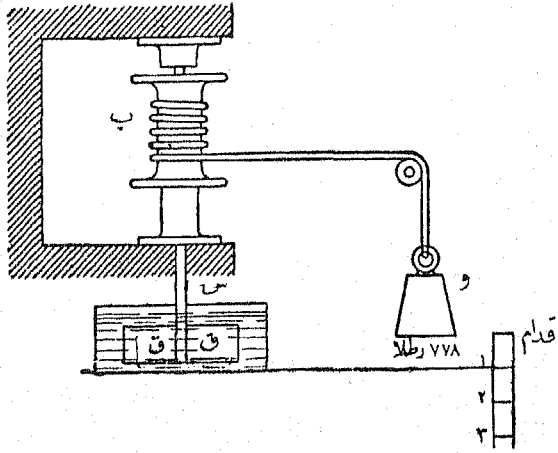
وكما أنه من القواعد الأساسية فى الطبيعة أن المادة لا يمكن انشاؤها ولا اعدامها وان أمكن تشكيلها على هيئات مختلفة جلية أو خفية فكذلك الطاقة سواء أكانت حرارية أم غيرها لا يمكن اعدامها بل يمكن أن تتخذ أشكالا مختلفة مع بقاء مجموعها ثابتا وهذه القاعدة تسمى قاعدة "حفظ الطاقة" .

وبناء على ذلك فالحرارة التى تنتقل الى المحرك بواسطة البخار إما أن تتحول الى شغل نافع أو تنصرف هباء بطرق عديدة ومجموع الحرارة التى تستخدم استخدامها نافعا مضافا إليها الحرارة المنصرفة هباء يساوى دائما الحرارة المستعملة بالضبط .

## المكافئ الميكانيكى للحرارة

نستطيع الآن أن نبحث المسألة المهمة وهى الارتباط بين وحدة الحرارة ووحدة الشغل .

فالرسم الآتى (شكل ٥) يعطى فكرة تقريبية عن الجهاز الذى استعمله جول (١) لتعيين هذا الارتباط .



(شكل ٥)

الثقل (و) وقدره ٧٧٨ رطلا معاق بخيط ملفوف حول البكرة ب التى يمر فيها الساق س وتتصل بأسفل هذا الساق قطعة رفيعة من الصاج و التى تسمى ريش وتنغمس فى وعاء به ماء فعند ما يسقط الثقل و تدور الريش فى الماء ويمنع الماء نفسه من الدوران بواسطة قطع ثابتة لم تبين فى الرسم .

وعند ما ينخفض الثقل قدما واحدا يكون قد أدى ٧٧٨ قدم رطل من الشغل لأن الثقل يمكنه أن يرفع ثقلا مساويا له فى الطرف الثانى من الخيط فهذا الشغل الذى لا يمكن أن يفقد يظهر كحرارة فى الماء فان اضطراب الريش يرفع حرارة الماء بمقدار يمكن قياسه بالترموتر .

وهذه الطريقة (المبينة هنا بايجاز فقط) حقق الدكتور جول بغاية التدقيق والاعتناء أن رطلا واحدا من الماء ارتفعت حرارته درجة واحدة فرنهيت بالشغل الذى أجرى عليه أثناء هبوط ٧٧٨ رطلا مسافة قدم واحد وعلى ذلك يكون

وحدة واحدة من الحرارة = ٧٧٨ وحدة من الشغل

وتسمى هذه الوحدة وحدة الحرارة البريطانية .

فلتحويل وحدات الحرارة البريطانية الى وحدات الشغل تضرب وحدات الحرارة في ٧٧٨

وبالعكس لتحويل وحدات الشغل الى وحدات حرارة بريطانية تقسم وحدات الشغل على ٧٧٨ .

وإذا قيست وحدة الحرارة بمقياس مئوى (ستيجراد) أى الحرارة اللازمة لرفع حرارة رطل واحد من الماء درجة مئوية واحدة يستبدل رقم ٧٧٨ بالرقم ١٤٠٠ لأن  $٧٧٨ \times \frac{٥}{٩} = ١٤٠٠$  وفي هذه الحالة تعرف وحدة الحرارة باسم وحدة الحرارة المئوية .

والتجربة المتقدمة تثبت الارتباط بين الحرارة والشغل بتحويل الشغل الى حرارة .

ويتحصر عمل المهندس الميكانيكى فى انشاء آلات يمكن بواسطتها تأدية عكس ما تقدم أى تحويل الحرارة الى شغل وقد أثبتت التجارب العديدة على المحركات صدق الارتباط بين الحرارة والشغل كما أثبتته بحول أى ان وحدة الحرارة البريطانية = ٧٧٨ من وحدات الشغل وقدرة الحصان مبينة بالوحدات الحرارية البريطانية =  $\frac{٣٣٠٠٠}{٧٧٨} = ٤٢٫٤٢$

## الفصل الثالث

### نقل الحرارة (١)

إذا تقاربت أجسام درجة حرارتها متفاوتة فإن الأجسام الحارة تميل الى التخلي عن حرارتها للأجسام التى هى أبرد منها حتى تصير درجة حرارة الجميع متساوية وعند ما لا يكون هناك ميل لانتقال الحرارة بينها يقال بأنها متساوية الحرارة .

أما سرعة نقل الحرارة من جسم حار الى جسم بارد فإنها مناسبة للفرق بين درجة حرارة الجسمين فكما كان الفرق فى درجة الحرارة عظيما كانت سرعة نقل الحرارة عظيمة أيضا .

ونقل الحرارة من جسم لآخر يمكن أن يحصل باحدى الطرق الثلاث الآتية: وهى التشعع والتوصيل والانتقال .

### التشعع (٢)

تبعث الحرارة من الأجسام الحارة فى أشعة تشعع فى جميع الانحاء بشكل خطوط مستقيمة فالحرارة الناتجة من احتراق الفحم فى الفرن تنقل الى قبة وجوانبه بالتشعع ثم تحترق ألواح الفرن بالتوصيل وتسخن الماء بالانتقال .

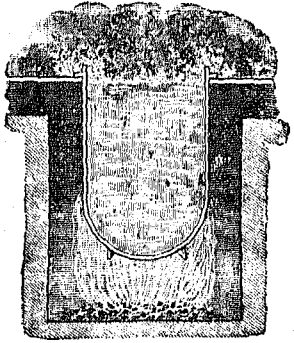
### التوصيل (٣)

ان العملية التى بواسطتها تمر الحرارة من الأجزاء الحارة فى جسم للأجزاء التى هى أبرد منها فى نفس هذا الجسم أو من جسم ساخن الى جسم أبرد منه ومتلاصق معه تسمى "التوصيل" فاذا وضع أحد طرفي قضيب من الحديد فى النار فان طرفه الثانى يحمى بسرعة لأن الحرارة تسرى فى جزيئات الجسم من أوله الى آخره .

أما قطعة الخشب الملتبته فيمكن مسكها باليد بقرب الجزء الملتب من الواضح اذاً أن بعض الأجسام توصل الحرارة بسهولة أكثر من الأجسام الأخرى .

مبين (بشكل ٦) فالماء الذي في السطح العلوي يغلي بسرعة بينما درجة حرارة الماء الموجود بأسفل المخبار لا تتغير تغيرا يذكر لأنه إذا وضعت قطعة تليج بأسفل

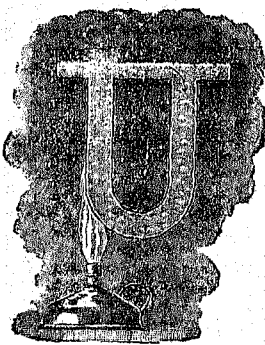
المخبار فإنها تبقى بدون ذوبان أما إذا سلطت الحرارة على أسفل الوعاء كما في (شكل ٧) فإن الطبقات السفلى تقل كثافتها وترتفع نحو السطح بينما الطبقات العليا الباردة والتي هي أكثر كثافة تهبط وبذلك تحدث تيارات دائرية يمكن رؤيتها بكل وضوح إذا وضع قليل من النخالة في الماء وينتهي ذلك بأن الماء جميعه يسخن سريعا .



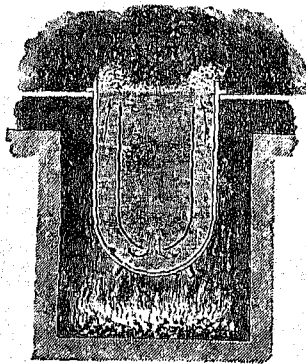
(شكل ٧)

في الجهاز الموضح (بشكل ٧) ربما ارتبك دوران التيارات ارتباكا شديدا أو ضعيفا فتتداخل التيارات بعضها في بعض حتى إذا كانت الحرارة شديدة يحصل اضطراب عنيف على سطح الماء يتسبب منه فوران الماء .

أما إذا وضع وعاء داخلي تكون له فتحات في أسفله وأعلاه بحيث تترك مسافة مستديرة للماء كما في (شكل ٨) فإن التيارات العليا والسفلى تنفصل عن بعضها ويحصل دوران حر بدون تعارض التيارات ويغلي الماء بسهولة وبتأثير أقوى .



(شكل ٩)



(شكل ٨)

وإذا لصقت قطعة من الورق النظيف بقاع غلاية نحاسية بها ماء ثم وضعت الغلاية على نار موقدة أو على شعلة غاز قوية فإن الماء يسخن بسرعة دون أن تحترق قطعة الورق مطلقا وسبب ذلك هو أن الحرارة تسرى بسرعة من النحاس الى الماء فالأجسام التي توصل الحرارة بسرعة توصف بأنها "جيدة التوصيل" والتي توصلها ببطء توصف بأنها "رديئة التوصيل" .

فالأجسام الرديئة التوصيل يستعملها المهندسون لمنع فقد الحرارة بالتشعع ولذلك تغطي المراحل (التفراغات) ومواسير البخار والاسطوانات ببعض المواد غير الموصلة للحرارة (العازلة) مثل الشعر أو اللباد أو الحرير الصخري . والأجسام ذات النسيج الدقيق الخيوط هي أردأ موصلات الحرارة .

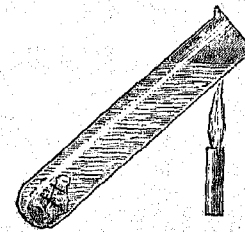
والجدول الآتي يبين القوة النسبية لتوصيل المعادن للحرارة :

الفضة	١٠٠	الصلب	١١,٦
النحاس الأحمر	٧٤	الرصاص	٨,٥
النحاس الأصفر	٢٣	الزئبق	١,٨
الحديد	١١,٩		

وأما السوائل والغازات فإنها مواد رديئة التوصيل للحرارة ومن المتعذر تسخينها بالتوصيل لكنها تسخن بسهولة وبغاية السرعة بالانتقال .

### انتقال الحرارة (١)

الحرارة المتقلبة هي التي تنتقل من محل لآخر بواسطة التيارات وتبين التجربة الآتية بكل وضوح أن الماء موصل رديء للحرارة وهذا هو السبب الذي يوجب تسخينه بطريقة أخرى غير التوصيل .



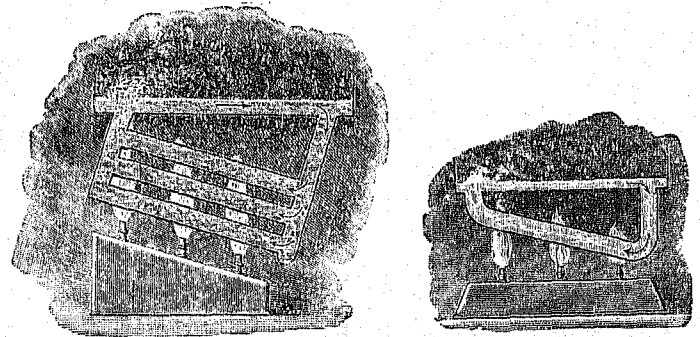
(شكل ٦)

يؤخذ مخبار مملوء تقريبا بالماء البارد ويمسك بحيث يسقط لهب على سطح الماء الأعلى كما هو

وكذلك اذا أخذت أنبوبة على شكل U وسلطت الحرارة على أحد ذراعيها فقط فان الدوران يحصل بسرعة ويرتفع الماء الساخن الأقل كثافة من الذراع الحار بينما الماء الأشد برودة وكثافة ينحدر من الذراع الآخر ثم يصعد في أثر الماء المتحرك ويتم الدورة

على أنه مجرد ما يسخن الماء كله لدرجة الغليان تتكوّن فقاع من البخار بسرعة ويستمر الدوران حينئذ بقوة أشد وهذا ناشئ من تأثير السرعة التي تميل بها تلك الفقاع الى الصعود فيما يحيط بها من الماء الأكثر كثافة والى المقاومة التي يحدثها الماء للحركة التصاعديّة لفقاع البخار فمجموع هذه المقاومات في عامود الماء هو مقياس القوة التي تدفع الماء صُعدًا وأن سرعة الدورة الحاصلة بهذه الكيفية ربما كانت عظيمة جدًا .

و(الشكلان ١٠ و ١١) هما تعديل لشكل الأنبوبة U وانما اختراعا بقصد زيادة سطح التسخين مع استبقاء فوائد الدوران الحر .



(شکل ١١)

(شکل ١٠)

وحرية الدوران أمر مهم في مراحل البخار لسببين أولهما حفظ المرجل على درجة حرارة منتظمة لمنع التمدد متفاوت في أجزاء المرجل المختلفة ولا سيما في المراحل ذات الألواح السميكة والسبب الثاني تسهيل نفاذ البخار من سطح التسخين بمجرد تكوينه لمنع زيادة حرارة الصاج التي ربما حدثت بخفاة ان لم يكن الماء ملاصقا للصاج على الدوام .

## الفصل الرابع

### تسليط الحرارة على الأجسام

جميع الأجسام تتمدد بتأثير الحرارة وسيمر على طلاب الهندسة أمثلة عديدة على استعمال قانون تمدد المعادن هذا . فمن ذلك أن قضبان أفران المرجل (الباطات) تترك أطرافها حرة لتمدد وكذلك ألواح المرجل فانها تبرشم ببرشام حام لدرجة الاحمرار فتبرد وتنكش وتضم حافات الألواح معا بقوة شديدة وكذلك عند وضع قضبان السكك الحديدية تترك مسافة صغيرة بين القضيب والآخ وتطول تقوب الجاويطات التي تربطها بالفلنكات (١) ودوائر محيط العجلات لا تتركب إلا اذا كانت حامية لدرجة الاحمرار فعند ما يبرد المحيط ينكش ويضغط على العجلة بشدة عظيمة وتتركب المرافق على محاورها بطريقة مماثلة لذلك وحيطان المياني التي تبرز من الوسط ترد الى استقامتها بوضع قضبان من الحديد في الحوائط بحيث تمتد من أحد جوانب البناء للآخر مع ربطها في الأطراف بصواميل بوردات كبيرة وتسخن القضبان وهي داخلية في البناء ويحكم ربط الصواميل فعند ما تبرد القضبان تنكش وتقوم الحوائط المقوسة معاً . ومواسير البخار المحصورة حصراً شديداً بين حاملين يجب أن توضع لها وصلة تمدد (راجع شكل ١٢) .

واسطوانات المحركات البخارية التي تسخن لدرجة حرارة البخار فانها عوضاً من تثبيتها تثبيتاً تاماً على قاعدة أفقية تثبت غالباً من وجهها الأمامي ويترك باقي الاسطوانة معلقة على قاعدة المحرك وتترك مسافة صغيرة بين سر المرفق (الكرنك) والكراسي الأصلية للمحركات التي لها قاعدة من الظهر لتسمح بتمدّد محور الحركة (عامود الادارة) في حالة سخونة الكراسي .

(١) Steepers

وإذا سخن الزجاج أو برد بعتة فانه يكون معرضا جدًا للتصدع لأن الزجاج يوصل الحرارة ببطء ويسخن وجها الزجاج بغير تساوٍ وعلى ذلك يتمددان بغير تساوٍ ولذا يحدث الكسر ومثل ذلك محتمل الحصول في اسطوانات البخار التي يجب أن تسخن على الدوام باحتراس بفتح المحبس قليلا أثناء تولد البخار وصرفه بلطف قبل تقويم المحرك وبذلك تسخن الاسطوانات وأقصمتها بالتدرج الى درجة الحرارة المطلوبة للتشغيل .

وتحتاج مراحل البخار كذلك الى عناية عظيمة لمثل هذه الأسباب اذ يجب أن لا تسخن أو تبرد بسرعة ويجب اجتناب جميع التغيرات الفجائية في درجة الحرارة وإلا يحدث تمدد أو انكماش متفاوت وينشأ عن ذلك نضح (تنفيس) .

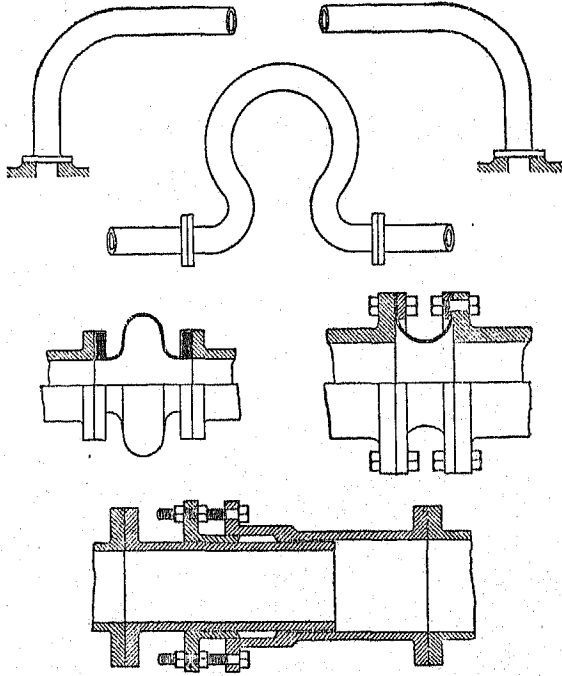
وأن استمرار توليد البخار في المرجل مدّة من الزمن أقل ضررا من توليد البخار ثم منع النار مرات متكررة حيث يترتب على ذلك تمددات وانكماشات للرجل .

القوة التي تبذلها الحرارة لتمديد ساق من الحديد هي نفس القوة التي تلزم لاطالته المسافة بعينها اذا استعملت وسائل آليّة (ميكانيكية) .

ومعامل التمدد للحديد والصلاب =  $0.0000683$  في كل درجة من مقياس فرنهيت  
 « » للنحاس الأحمر =  $0.0000956$  « » « »

أى أنه اذا أخذت ماسورة باردة من الحديد المطروق على درجة ٣٨ فرنهيت وسخنت تدريجيا بالبخار وملئت أخيرا بالبخار الذي ضغطه داخل المرجل ١٠٠ رطل أو درجة حرارته  $338^{\circ}$  فرنهيت فإن هذه الماسورة تتمدد في الطول بمقدار  $= (38 - 338) \times 0.0000683 = 0.002$  بوصة من طولها لأصلي أو نحو بوصة واحدة في كل ٤٢ قدم طول .

و (الشكل ١٢) يبين أمثلة من الطرق المختلفة التي يُحتاط بها لتمدد المواسير يتأثير الحرارة حتى يتجنب الشد أو الخطر الذي يحدث عند ما تثبت المواسير بين حوامل صلبة لم يعمل لها احتياط للتمدد أو الانكماش .



(شكل ١٢)

أمثلة وصلات القابلة للتمدد

### تسليط الحرارة على الغازات

تتمدد الغازات كالهواء مثلا بتأثير الحرارة بجزئية أعظم بكثير من تمدد السوائل أو الأجسام الصلبة والقانون الذي يبين تأثير الغازات بفعل الحرارة يعرف بقانون شارل ويمكن تقريره كما يأتي : حجم الغاز تحت ضغط ثابت أو ضغط الغاز الذي حجمه ثابت يتغير بتغير درجة الحرارة المطلقة ويتضح معنى هذا القانون من اعتبار التطبيقات الآتية :