6. 8. الإشعاع الحراري

وجدنا أن انتقال الحرارة بالتوصيل أو الحمل يلزمه وسطاً مادياً سائلاً أو صلباً أو حتى غازياً حاملاً لهذه التغيرات الحرارية، أما الإشعاع الحراري فهو انتقال الحرارة خلال الفراغ دون الحاجة إلى وسط مادي ينقلها، فحرارة الشمس التي تستغرق رحلتها *150* مليون من الكيلومترات وأغلبها خلال الفراغ لاتصل إلينا عن طريق التوصيل، أو الحمل الحراري، وإنما عن طريق الإشعاع، هذا الإشعاع عبارة عن أمواج كهرطيسية تسير بسرعة الضوء، ولها القدرة على النفاذ خلال الفراغ.

وعندما تسقط على سطح ما فإنها تُمتَصْ، وبالتالي فإن طاقة حرارية تنتقل إلى الجسم الماص.

يشع كل جسم مهما كانت حرارته موجات كهرطيسية، في نفس الوقت الذي يمتص الأمواج الساقطة عليه، وطول هذه الموجات يعتمد على طبيعة سطح الجسم، وعلى درجة حرارته، ففي درجة الحرارة المنخفضة يكون معدل طاقة الإشعاع الصادرة ضعيفة، وبالتالي فإن طول الموجات الكهرطيسية يكون طويلاً، وعندما ترتفع درجة حرارة الجسم يرتفع معدل طاقة الإشعاع الصادر بسرعة كبيرة جداً تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة للجسم، أي تتناسب طردياً مع T^4، وقد أثبتت التجارب المخبرية أن معدل طاقة الإشعاع الصادرة من سطح تتناسب أيضاً مع مساحته A كما أنها تعتمد على طبيعة السطح حيث يعبر عن هذه الحقيقة بثابت ليس له أبعاد، وهو (ε) وقيمته تكون بين الصفر والواحد ونستطيع أن نلخص ما سبق في معادلة تعبر عن معدل طاقة الإشعاع الصادر وهي:

$$R_e = seAT_e^4$$

حيث R_e معدل طاقة الإشعاع الصادر ووحداتها (W) و(σ) ثابت فيزيائي يسمى ثابت ستيفان-بولتزمان، وقيمته تساوي تقريباً

$$5.67.10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$$

الثابت (ε) يتعلق بطبيعة السطح المشع، ويدعى بمعامل الإصدار (*emissivity*) وقيمة ε كبيرة بالنسبة للسطح القاتم اللون والخشن، وصغيرة بالنسبة للسطح الفاتح اللون والأملس. فالجسم الذي له أعلى إصدار أي أن ($\varepsilon=1$)، يسمى جسماً معتماً، لأنه يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه.

أما الجسم الذي له أدنى إصدار أي ($\varepsilon=0$) لم فإنه يسمى عاكساً مثالياً، لأنه لا يمتص. تقريباً أياً من الأشعة الساقطة عليه.

إن الجسم الذي له إصدار عال يكون ماصاً جيداً، وبالتالي فإنه جيد الإشعاع، والجسم الذي إصداره صغيراً، يكون ماصاً رديئاً، وبالتالي فإنه رديء الإشعاع، والجسم كما يشع في أي درجة حرارة فإنه يمتص أيضاً، فإذا وضع جسم في درجة حرارة (T_e) قرب حائط-مثلاً- في درجة حرارة (T_a) فإنه سيمتص الإشعاع الصادر عن الحائط بمعدل:

$$R_a = seAT_a^4$$

فإذا كانت درجة الحرارة أعلى من درجة حرارة الحائط، أي أن ($T_e>T_a$)، فإن معدل الإشعاع الصافي الصادر عن الجسم يكون

$$R = R_e - R_a$$

$$R = seA\left(T_e^4 - T_a^4\right) \qquad (\mathbf{6.18})$$

أما إذا كان الجسم أبرد من الحائط أي ($T_e<T_a$)، فإن الجسم سيمتص إشعاعاً بنفس المعدل في المعادلة (6.18)

6. 9. قوة امتصاص السطح للحرارة

تعرف قوة امتصاص السطح للحرارة، بأنها نسبة كمية الإشعاع الحراري الذي تمتصه وحدة السطوح من السطح في الثانية الواحدة إلى كمية الإشعاع الساقط على نفس المساحة في نفس الوقت، وقد وجد أن قوة إصدار أي سطح للإشعاع الحراري تساوي قوة امتصاصه لهذا الإشعاع.

6. 10. قوة إشعاع السطح للحرارة

تعرف قوة إشعاع أي سطح للحرارة، بأنها نسبه كمية الحرارة الصادرة عن وحدة السطوح من السطح في واحدة الزمن إلى كمية الحرارة التي تشعها وحدة السطوح من سطح الجسم الأسود المثالي في واحدة الزمن وفي نفس الظروف.

6. 11. قانون ستيفان

في عام 1879م اقترح ستيفان أن الإشعاع الكلي الصادر من أي جسم، متناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقة، وكان هذا الاقتراح مبنياً على النتائج التي توصل إليها تندال من قياس معدل إصدار الحرارة بالإشعاع من سلك ساخن من البلاتين، وفي عام 1884م تمكن بولتزمان من إثبات قانون ستيفان نظرياً باستخدام قوانين الديناميكا الحرارية. ووجد أن القانون لا ينطبق إلا على الأجسام السوداء المثالية. وسمي القانون بعد ذلك، بقانون ستيفان وبولتزمان وهو في صيغته الرياضية

$$E = sT^4 \qquad (\mathbf{6.19})$$

حيث E هي الطاقة الكلية للشعاع الصادر في الثانية الواحدة من $(1m2)$ من جسم أسود في درجه حرارة مطلقة قدرها (T)، (σ) ثابت يسمى ثابت ستيفان بولتزمان $s = 5.67.10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}$

وعند استخدام القانون يجب الأخذ بعين الاعتبار الإشعاع الذي يمتصه

الجسم من الوسط المحيط به.

فإذا وضع جسم درجه حرارته (TK^0) في وسط درجة حرارته (T_0K^0) فإن الطاقة الصادرة من ($1\ m^2$) في الثانية هي:

$$E = s\left(T^4 - T_0^4\right) \qquad (\mathbf{6.20})$$

6. 12. الجسم الأسود المثالي

هو السطح الذي يمتص كل الطاقة الساقطة عليه من الخارج، ويشع كل الطاقة الساقطة عليه من الداخل إلى الوسط الخارجي، وعليه فإنه في حالة الجسم الأسود لا تعتمد الطاقة المنبعثة من سطحه على نوع السطح، بل تعتمد على درجة حرارة الجسم.

وفي الطبيعة لا توجد أجسام سوداء مثالية، ولكن يمكن صنع مثل هذه الأجسام عملياً.

مثال (1)

كرة من النحاس نصف قطرها ($5\ cm$) محاطة بكرة أخرى متحدة معها في المركز، نصف قطرها ($10\ cm$)، فإذا ملء الفراغ بينهما بمادة عازلة، وسخنت الكرة الداخلية كهربائياً بمعدل قدره ($10\ W$) فإن فرقاً في درجة الحرارة قدره ($55K^0$) ينشأ بين سطحي الكرتين، فما هو معامل التوصيل الحراري للمادة العازلة.

الحل: كمية الحرارة التي تنتقل في الثانية الواحدة بين كرتين متحدتين بالمركز في الحالة الثابتة هي:

$$\frac{dQ}{dt} = 4K\,p\,r_1 r_2 \frac{q_1 - q_2}{r_2 - r_1}$$

$$\frac{dQ}{dt} = 10W$$

$$10 = (4)(314).K.5.10^{-3}.10.10^{-3}\frac{55}{5.10^{-2}}$$

مثال (2)

أنبوبة طولها ($3m$) ونصف قطرها الخارجي ($15.10^{-3}\ m$) غطيت بطبقة من عازل سمكها ($24.10^{-3}\ m$) وكانت درجة حرارة السطح الخارجي للعازل ($588K^0$) وكانت درجة حرارة الهواء المحيط ($295K^0$)، فما هو معدل فقدان الحرارة بالإشعاع من الأنبوبة تعطى $\varepsilon=0.94$

الحل: مساحة السطح الخارجي للعازل $= 2p\left(15.10^{-3} + 24.10^{-3}\right).3 = 0.164m^2$

$$Q = es\,A\left(T_1^{\,4} - T_2^{\,4}\right)$$

$$Q = 0.94.5.672.10^{-8}\left[(588)^4 - (295)^4\right]$$

$$Q = 5900\ W$$

مثال (3)

تبلغ درجة حرارة جلد شخص $33C^o$ يجلس في غرفة درجة حرارتها $29C^o$ فإذا كانت قيمة ثابتة الإصدار بالنسبة لجلد الشخص مساوية $\varepsilon=1$ ومساحة جلده $1.5m^2$ فما هي كمية الحرارة التي يشعها الشخص للغرفة

الحل: إذا اعتبرنا أن الشخص يشع حرارة إلى الغرفة عبر جلده فيمكن تطبيق القانون:

$$E = seAT^{\,4} = \left(15.67.10^{-8}Wm^{-2}K^{-4}\right)\left(1.5m^2\right)(306K)$$

$$E = 746\ W$$

- غالباً ما يكون لدينا جسمان أحدهما يشع حرارته إلى الأخر فإذا كانت درجة حرارة الجسم الساخن $T+DT$ والجسم البارد T فإن الفرق بين كميتي الحرارة المشعة تساوي:

$$\Delta E = seA\left[\left(T + \Delta T^{4}\right) - T^{4}\right] \; ; \; 4T^{3}.\Delta T.seA$$

مثال (4)

قورنت درجتي الحرارة بين بقعتين على صدر شخص مريض فوجد أن الفرق الحراري بينهما يساوي *1%*. ما هو الفرق بين درجتي حرارتهما.

الحل : لنفرض أن درجة حرارة البقعة المنخفضة الحرارة تساوي $37C^{o}$ أي $310K^{o}$ وأن درجة حرارة الأخرى $T+DT$ من العلاقة السابقة

$$\Delta E = 4seAT^{3}.\Delta T$$

نستفيد في تشكيل المعادلة

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{4seAT^{3}.\Delta T}{seAT^{4}} = \frac{\Delta T}{T} = 0.01$$

$$\Delta T = 0.01\frac{T}{4} \Rightarrow 0.01\frac{(310K)}{4} = 0.755K$$

6. 13. درجة حرارة سطح الشمس

إذا اعتبرنا أن الشمس جسم أسود، يمكن استنتاج درجة حرارة سطحها المنظور، باستخدام قانون ستيفان كالآتي:

إذا كانت (R) نصف قطر الشمس، (T) درجة الحرارة المطلقة لسطحها، فإن الطاقة الحرارية التي يفقدها السطح في الثانية هي

$$= 4pR^{2}sT^{4} \text{ Watt}$$

وإذا كانت (x) هي البعد بين الشمس والأرض، فإن هذه الطاقة تتوزع على سطح كرة نصف قطرها (x)، على مساحة $4px^{2}$ أي أن الطاقة الساقطة على ($1\ m^{2}$)، من الأرض في الثانية الواحدة هي:

$$S = \frac{4pR^{2}sT^{4}}{4px^{2}} \text{ W m}^{-2}$$

وتسمى (S)، بالثابت الشمسي ويمكن قياسه بتجميع أشعة الشمس داخل غلاف أسود من ثقب صغير في الغلاف، ومعلوم مساحته، تقاس كمية الحرارة المكتسبة بوضع هذا الغلاف في مسعر له مكافئ مائي معلوم. وقد وجد أن (S) لها قيمة متوسطة تساوي ($1351\ W.m^{-2}$)، أي أن الأرض تستقبل في المتوسط 1350 جول على كل متر مربع في الثانية.

تتغير هذه القيمة مع البقع الشمسية في دورة قدرها 11 سنة، بالتعويض في المعادلة السابقة باعتبار أن:

$$R = 6.93.108m$$
$$x = 14.94.1010m$$
$$s = 5.67.10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$$
$$1350 = \frac{\left(6.93.10^{8}\right)^{2}.\left(5.67.10^{-8}\right)T^{-4}}{\left(1494.10^{10}\right)^{2}}$$
$$T = 5770\text{K}$$

هذه النتيجة أقل من الحقيقة لأن الشمس لاتشع كجسم أسود مثالي، لذا يجب أن تكون درجة حرارتها أعلى من الجسم الأسود الذي يشع بنفس الشدة، كما أن درجة حرارة باطن الشمس أعلى من هذا بكثير، ومن المعروف أن الشمس تستمد حرارتها من التفاعلات النووية التي تنشأ بداخلها، وعلى هذا الأساس تمكن جينز من حساب درجة حرارة باطن الشمس، وقدرها بحوالي 10^7 درجة مطلقة.

باستخدام قيمة الثابت الشمسي، يمكن البرهنة أن نصيب الكرة الأرضية من طاقة الشمس مقدار كبير جداً يقدر بحوالي 230 مليون حصان في الثانية أما إنتاج الشمس من الطاقة فهو أكبر بنحو 200 مليون مرة أو ما يعادل $4.6.10^{23}$ حصان في الثانية.

يمكن حساب درجة حرارة الشمس باستخدام معادلة (فين) ا 0.00293

$$l_m T = 0.00293\text{mk}$$

وبما أن $l_m = 49.10^{-8} m$ طول الموجة الذي يوافق النظرية العظمى التابع لأقصى طاقة في الإشعاع الشمسي

$$49.10^{-8} m T = 0.00293$$

$$T = 5970K$$

ويلاحظ أن هذه القيمة تتفق إلى حد ما مع القيمة المحسوبة باستخدام معادلة ستيفان.

14. 6. تأثيرات الحرارة في الأحياء

الكائنات الحية في تفاعل حراري دائم، ومستمر مع بيئتها، والتوازن الحراري البيئي على سطح الأرض تحفظه الشمس كل يوم، وتمده بقدرة تعادل ($1.4.10^3 W/m^2$)، ومعظم الأحياء تحافظ على درجة حرارة معينة وثابتة، وذلك عن طريق تنظيمها للطاقة الإستقلابية التي تنتجها، يعرف معدل الإستقلاب الأساسي، على أنه كمية الحرارة التي ينتجها الجسم عندما يكون الجسم في حالة راحة.

فأعضاء الإنسان تعمل بطاقة أقل من معدل الإستقلاب الأساسي، بينما عندما يقوم الإنسان بعمل شاق، فإن أعضاءه تعمل بطاقة أكبر من الإستقلاب الأساسي. التغير في درجة حرارة الجسم الحي يمكن أن يغير شكل بروتيناته، فإذا كان هذا التغير كبيراً، فإن البروتينات قد تعجز عن القيام بوظائفها الحيوية وللحفاظ على درجة حرارة ثابتة، فإن الجسم يستخدم آلياته المتنوعة ليعوض الحرارة المفقودة، فعندما تكون درجة حرارة البيئة عالية، أو يكون معدل الإستقلاب عالياً، فإن الجسم يعوض ذلك بزيادة كمية الحرارة المفقودة وذلك عن طريق توسيع الأوعية الدموية، وتبخير العرق من على سطح الجسم، أما عندما تكون درجة الحرارة منخفضة، فإن الجسم يعمل على تقليل كمية الدم المتدفقة سطح الجلد، لإنقاص كمية الحرارة المفقودة.

6. 15. أثر درجة حرارة الوسط على الجسم

يؤدي تعرض الجسم البشري إلى أجواء ذات درجات حرارة، ورطوبة عالية إلى ارتفاع درجة حرارته إلى درجات عالية، لا تفلح عندها وسائله المختلفة - توسع الأوردة والشرايين والتعرق وخفض إنتاج الطاقة الحرارية، والتغير في السلوك، مثل شرب الماء والتخفيف من الملابس، أو التحرك إلى مكان بارد - في خفضها، مما يؤدي إلى إجهاد هائل على القلب يجعله يعمل بمقدار أربع مرات عن الحالة العادية، وبالتالي يزداد معدل التنفس، فيصل إلى *50* مرة في الدقيقة، ويصاب الجسم في هذه الحالة بما يسمى ضربة الشمس، ومما يجدر ذكره أن زيادة درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة، يؤدي إلى زيادة استهلاك الأوكسجين بمقدار (*13%*)، تشكل ضربة الشمس خطراً كبيراً على حياة الإنسان بشكل عام وتؤدي إلى الوفاة، ولكنها تشكل خطراً أكبر على حياة كبار السن، لعدم قدرة أجهزة الجسم على العمل بكفاءة، كما أنها تشكل خطراً على حياة الأفراد الذين يعانون من الأمراض والجفاف، وكذلك الذين يتعاطون أدوية من شأنها تعطيل أجهزة الجسم التي تتحكم في الاتزان الحراري.

أما البرودة الشديدة، فتعد أيضاً خطراً كبيراً على حياة الإنسان وتؤدي إلى الوفاة إذا لم يسعف المريض بسرعة.

إن البرد الشديد يؤدي إلى تلف أنسجة الجسم نتيجة تعرضها للتجمد وتسبب فقدان في الإحساس وبياض أو اصفرار عند نهايات الأطراف، مثل أصابع الأيدي والأرجل، وشحمة الأذن، ومقدمة الأنف، يجب الحصول على مساعدة طبية عند حدوث هذه الأعراض، كما يجب عدم تدفئة هذه النهايات أثناء انتظار المساعدة الطبية، لأن تدفئة الأطراف، يدفع الدم البارد إلى القلب، والذي بدوره يؤدي إلى تعطله عن العمل وموت المريض، وإذا ظهرت على المريض

أعراض برودة الجسم الشديد، يجب أولاً تدفئة قلب الجسم قبل الأطراف، وتتمثل أعراض البرودة الشديدة في الارتعاش غير المنتظم، وفقد الذاكرة، وعدم القدرة على التوازن، والكلام غير المفهوم والخمول، والتعب الشديد.

6. 16. العلاج الحراري

يمكن استخدام الأمواج الميكروية والراديوية ذات الترددات المنخفضة - من المدى *500* كيلوهرتز إلى *2500* ميغاهرتز للأعراض الطبية والعلاجية، وتتلخص الفعالية العلاجية والحيوية للموجات الراديوية والدقيقة عند التردد المذكور على اعتبار أنها قادرة نادرة على التوغل داخل الأنسجة الحية كجسم الإنسان.

ورفع درجة حرارة المحيط (الوسط) المحصور في مجال سقوطها فقط، - ويشيع طبياً - استخدام الترددات المذكورة لأغراض العلاج الحراري، ويمكن استخدام هذه التقنية الطبية الحديثة في الاستفادة من هذا التسخين، والإحماء للوسط المحيط بغرض التخفيف من آلام العضلات والتهاب العظام، والأغراض الأخرى التي يكون فيها التسخين للأنسجة الداخلية مفيداً.

ومما يجدر ذكره أهم خاصية للموجات الدقيقة تنحصر في إثارة جزيئات الماء - كما في أفران الميكروويف - باختيار التردد المناسب لهذه الموجات ليتطابق مع الطاقة اللازمة لإثارة جزيء الماء في الوسط، وبالتالي تتم عملية الامتصاص بحدها الأقصى لإحداث عملية التسخين، ومن أهم المجالات الطبية والحيوية للموجات الدقيقة ما يلي:

1 - العلاج الطبيعي:

تعتمد تقنية العلاج الطبيعي بالموجات الدقيقة والموجات الراديوية، على الاستفادة من خاصية التسخين المرافقة لامتصاصها، حيث تستخدم بواسطة أخصائي العلاج الطبيعي لتدفئة، وتسخين الأنسجة العميقة، ونفس الوقت يتم

التحكم والسيطرة على درجة الحرارة الخارجية، وتعتبر هذه الطريقة بديل ناجح للتقنية الصينية القديمة المعروفة بالوخز بالإبر.

2- عمليات البالون الميكروية

أثبتت تقنية عمليات البالون الميكروية نجاحها في الحد من حدوث المشاكل التي عادة ما تعقب عمليات قسطرة البالون التقليدية.

3- تنسيق أحواض التعقيم

يمكن تعميم الأجهزة الطبية وغيرها عن طريق الأمواج الميكروية بدلاً من التعقيم بالطرق التقليدية - أفران حرارية وغيرها - حيث تعد هذه الطريقة قادرة على تأمين مصدر حراري آمن يسهل التحكم فيه والسيطرة عليه دون أدنى درجة من التلوث.

4- إتلاف الخلايا السرطانية

تعتمد تقنية إتلاف الخلايا السرطانية بالتسخين، المعروفة بالهايبرثيرميا، على التسخين المحدود والمقيد في مكان محدّد، كموقع الخلايا السرطانية، مما يسهل من مهمة القضاء عليها دون إتلاف خلايا الوسط المحيط بها، وقد تم حديثاً تطوير هذه التقنية بشكل كبير باستخدام تقنية علاج التخثر بالميكروويف.

5- التصوير الحراري

إن المثال السابق يبني المبدأ الفيزيائي للتصوير الحراري أو ما يدعى (*Thermography*) هذه التقنية التي استخدمت في تطبيقات طبية باستخدام حساس خاص يعمل على التقاط الأشعة تحت الحمراء الخارجة من جسم المربعين، يجب أن تكون حساسية اللاقط مرتفعة وتصل حتى 0.1^oC أي عشر الدرجة المئوية حتى نستطيع تشكيل صورة واضحة. ومن أهم توظيفات هذه الطريقة في التصوير هو الكشف المبكر عن سرطان الجلد والأجهزة القريبة تحت الجلد.

6- مجالات طبية أخرى

يمكن استخدام التسخين بالموجات الميكروية والراديوية في المجالات الآتية:

1- تقنية تسخين وتدفئة الدم في الدورة الدموية أثناء إجراء العمليات الجراحية

2- إذابة عينات كريات الدم الحمراء المجمدة عادة عند درجة حرارة ($65\text{-}C^o$)، بدلاً من استخدام التقنية التقليدية (حمام ماء دافئ) والتي عادة ما تكون بطيئة، وغير مأمونة المخاطر من التلوث

3- جراحة وعلاج القلب بالتسخين، وانسداد الشرايين

4- جراحة الأنف والأذن والحنجرة حيث يتم استخدام هذه التقنية لعلاج احتباس الهواء المسؤول عن حالات الشخير

5- جراحة المسالك البولية، لمعالجة انسداد القناة البولية، واحتباس البول ولكن على الرغم من التطبيقات المذكورة للموجات الدقيقة والراديوية، إلا أنها لا تخلو من بعض المخاطر نتيجة للتأثير الحراري، و التسخيني التي تحدثه في الوسط.

6. 17. الحرارة والطاقة الجزيئية

وجدنا سابقاً أن الغاز المثالي يتبع العلاقة: $Pv = nRT$ تلك العلاقة يمكن تأكيدها بطرق تجريبية كثيرة وكذلك يمكن برهانها بطرق نظرية باعتماد نماذج نظرية مختلفة لأن تأخذ متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المختلفة المشكلة للغاز المثالي، كذلك سنعتمد درجة حرارة كالفن بدلاً من درجة الحرارة المئوية.

في نموذج الغاز المثالي، ننظر إلى الجزيئات كجسيمات لا تتصادم مع بعضها البعض ولكن تقوم بتصادمات مرنة على السطح الداخلي للوعاء الموجودة بداخله مغيرة اتجاهها دون تغيير طاقتها، وإنما يحدث تغيير لكمية

الحركة للجزيئة الصادمة، كما أن التصادم بين الجزيئة والسطح الداخلي يكون بمثابة تأثير قوة، إن متوسط القوة المطبقة على دائرة المساحة من قبل الجزيئات يمثل الضغط للغاز داخل الوعاء.

يمكننا البرهنة أن:

$$r_V = \frac{2}{3} n N_A \left(K\right)_{ave}$$

n عدد مولات الغاز، N_A=عدد أفوغادرو

$$\left(K\right)_{ave} = \frac{m}{2}\left(v^2\right)_{ave}$$

m الكتلة الجزيئية

$\left(v^2\right)_{ave}$ مربع سرعة الجزيئة وهذا يمثل متوسط قيمة v^2

إذا قارنا بين هذه النتيجة ونتيجة نموذج الغاز المثالي الممثلة بالعلاقة:

$$p_V = nRT$$

فإننا نجد

$$nRT = \frac{2}{3} n N_A \left(K\right)_{ave}$$

هذا يؤدي إلى:

$$\left(K\right)_{ave} = \frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T = \frac{3}{2}K_B T$$

إن النسبة $K_B = \frac{R}{N_A}$ تمثل ثابتة بولتزمان وقيمتها:

$$K_B = 1.38 \times 10^{-23}\ J\,K^{-1}$$

هذه النتيجة هامة جداً لأنها تعطي تفسيراً لدرجة الحرارة المطلقة في حد القيمة الوسطية للطاقة الحركية لجزيئة الغاز.

إن الطاقة الحرارية $K_B T$، وتكفي معرفة درجة الحرارة للحصول على الطاقة الحرارية وبالتالي لحساب سرعة الجزيئات من العلاقة:

$$\sqrt{\left(v^{2}\right)_{ave}} = \sqrt{\frac{2(K)_{ave}}{m}} = \sqrt{\frac{3KBT}{m}}$$

مثال:

a) ما هو متوسط الطاقة الحركية لجزيئة الهيدروجين في الدرجة $27c^{o}$ في وعاء مغلق

b) وما هو متوسط سرعتها عند اصطدامها بجدران الوعاء الداخلية

الحل:

a) لدينا من العلاقة $(K)_{ave} = \frac{3}{2}K_{B}T$

$$(K)_{ave} = \frac{3}{2}K_{B}T$$

$$= \frac{3}{2}\left(1.8\times10^{-23}JK^{-1}\right)(300K)$$

$$= 6.21\times10^{-21}J$$

b) متوسط جذر مربع السرعة:

إن كتلة جزيئة الهيدروجين تساوي

$$2.016U = (2.016U)\left(1.66\times10^{-27}KgU^{-1}\right)$$

$$= 3.35\times10^{-27}Kg$$

ومنه $U_{rms} = \sqrt{2(K)_{ave}/m}$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{2\left(6.21\times10^{-21}J\right)}{\left(3.35\times10^{-27}Kg\right)}} = 1930ms^{-1}$$

6. 18. الحرارة والاستقلاب البشري

كل حياة بحاجة لطاقة حتى تستمر. فالنباتات الخضراء تحصل على طاقتها عبر سلسلة من العمليات الحيوية تدعى التمثيل الضوئي وإذا تذكرنا هنا

بأن الفطر لا يمتلك اللون الأخضر ولا يقوم بعملية التمثيل الضوئي لذلك يعتبر الفطر أنه حيوان ويحصل على غذائه عن طريق الطاقة الكيميائية. وبذلك نرى أنه في جميع حالات الحياة نباتية كانت أم حيوانية تحدث وفق قوانين ترموديناميكية.

إن القانون الأول في الترموديناميك، يمكن أن يطبق على حياة الانسان واستقلاباته. لنفترض أن شخصاً يقوم بعمل ميكانيكي DW خلال زمن وقدره Dt. هذا المقدار يمكن أن يقيس مباشرة النشاط الذي يقوم به الشخص بركوب الدراجة، ركوب الخيل، سباق، ... الخ.

عندما يقوم الشخص ببعض الأنشطة السابقة فإن جسمه سوف يفرز حرارة DQ وتعتبر هنا سالبة لأنها تخرج من جسم الشخص الذي يقوم بالنشاط، تلك الكمية من الحرارة تتناسب مع حرارة المكان الموجود به الشخص ارتفاعاً أو انخفاضاً ومن قانون الترموديناميك الأول فيكون تغير الطاقة الداحلية DU حسب القانون:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

وبتقسيم طرفي المعادلة على المقدار Dt يصبح لدينا:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} - \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

إن نسبة تغير الطاقة الداخلية يمكن ملاحظته من نسبة استهلاك الشخص للأكسجين وذلك من تحول الغذاء إلى طاقة مثال ذلك إذا كان لدينا $150(g)$ من سكر الغلوكوز والذي يعتبر من صنف الأغذية الكربوهيدراتية، إذا تفاعل مع $134.4(L)$ من غاز الأوكسجين فإنه عبر سلسلة من المراحل سيطرح غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وماء H_2O ويتحرك لدينا في هذه الحالة $2870Kj/134.4PLitre$ والذي يساوي $2.1KJlitre^{-1-}$ تلك الطاقة المحتواة في

واحدة الكتلة وهي التي نحصل عليها بتقسيم الطاقة على الكتلة الجزيئية مثال ذلك في حالة سكر الغلوكوز نقسم الطاقة على كتلة جزئية واحدة كما في العلاقة:

$$2870\ KJ/180\ g = 15.9\ KJ.g^{-1}$$

في الجدول (6.2) يظهر الطاقة الوسطية المحتواة في واحدة الكتلة والطاقة المكافئة للأوكسجين من أجل الأغذية الكربوهيدراتية، بروتينات ودسم مستخدمة كأغذية والحرارة المكافئة من الاكسجين في كل الأغذية السابقة هي تقريباً نفسها مع فروقات صغيرة جداً وهي تساوي في متوسطها القيمة ($20.2\ KJLitre^{-1}$).

مثال ذلك: إذا كان شخص يستهلك $100\ litre/Ln$ من الأكسجين فإن نسبة تغير الطاقة الداخلية في جسمه تساوي:

$$100LitreLn^{-1} \times 20.2\ Kg\ Litre^{-1} = 2020\ KgLn^{-1}$$
$$= 561\ W$$

6. 19. نسبة الاستقلاب الأساسي

كل الكائنات الحية بما فيها البشر تستهلك من طاقتها الداخلية حتى في أثناء النوم. إن استهلاك الطاقة يبقى مستمراً في أجسامنا بين ارتفاع وانخفاض وحسب المجهود الذي يبذله الشخص، ونقول أن الاستهلاك الأدنى للطاقة الداخلية يعادل $1.2\ WKg^{-1}$ وذلك كاستهلاك وسطي للرجال بعمر حوالي (20) عشرون عاماً و$1.1WKg^{-1}$ بالنسبة للنساء بعمر (20) عشرون عاماً أيضاً. بالنسبة للواحدات المستخدمة في علم التغذية فنستخدم عادة الكيلو حريرة (K calories)، ويكون الاستهلاك حوالي 1700 Kcal في اليوم بالنسبة للرجال التي تزن حوالي 70 Kg و1400Kcal بالنسبة للنساء اللاتي تزن حوالي 60Kg. إن القسم الأعظم من هذه الطاقة تستهلك في الأجسام على شكل حرارة كما

وتستخدم في العمل الذي يقوم به البشر.

إن المواد الغذائية لا تستهلك مباشرة في الجسم البشري وإنما تتحول إلى مواد أخرى كمادة *ATP* (أو دنيزين تريفوسفات) والتي يمكن أن تدخر في النسج المختلفة، حوالي *55%* من الطاقة الداخلية تصرف على شكل حراري وتبقى حوالي *45%* للعمل الداخلي وتحريك العضلات أو كعمل يبذله الجسم للخارج.

الجدول (6.2)

نوعية الغذاء	**الطاقة المخزنة في واحدة الكتلة** $KJ.g^{-1}$	**الطاقة المكافئة للأكسجين** $kJ.Litre^{-1}$
كربوهيدرات	17.2	21.1
بروتين	17.6	78.7
دسم	38.9	20.3
ايتانول	29.7	20.3
الوسط المعياري		20.2

عندما يمارس الأشخاص نشاط معين كالركض مثلاً أو ممارسة أعمال منزلية. في الجدول (6.3) مبيناً نسبة تغير الطاقة الداخلية بالنسبة للزمن، مقسومة على كتلة الشخص الذي يقوم بالنشاط، نلاحظ من الجدول أن استقلاب شخص يركب دراجة يزيد ثماني مرات عن استقلاب الشخص نفسه أثناء الراحة. الجدول (6.3) يظهر الاستقلاب التقريبي لنسبة واحدة الكتلة لشخص عمره حوالي *20* عاماً أثناء ممارسة عدة أنشطة.

الجدول (6.3)

$-\frac{1}{m}\frac{\Delta U}{\Delta t}\left(WKg^{-1}\right)$	**نوعية النشاط**
1.1	النوم
1.5	الجلسة القائمة
2.6	الوقوف
4.3	المشي
7.6	ركوب الدراجة
9.2	ركوب الخيل
11	السباحة
15	رياضة التزلج على الجليد
18	الجري

مثال:

a) ما هي قيمة الطاقة الداخلية المستهلكة بالنسبة لشخص يزن *65Kg* يقوم بالتجديف بدراجته الهوائية لمدة أربع ساعات. فإذا كانت هذه الطاقة الداخلية يحصل عليها الجسم من استقلاب الجسم من مواد دسمة ماهي كتلة المادة الدسمة المستهلكة خلال هذه الفترة.

الحل:

لدينا من الجدول (6.3) نسبة استقلاب الجسم خلال ركوب الدراجة يساوي *7.6* WKg^{-1} فإذا كان الرجل يزن *65Kg* تكون الطاقة المستهلكة مساوية:

$$65 \times 7.6 = 494\ W$$

تلك الطاقة الداخلية (الاستطاعة) مستهلكة في واحدة الزمن ومن أجل أربع ساعات تصبح الطاقة:

$$-\Delta U = (4.94W)(1.44\times10^4 S) = 7.1\times10^6 J$$
$$= 7100Kj$$

b) الطاقة المكافئة للدسم تساوي $38.9KJg^{-1}$ مما يعطي كتلة الدسم اللازمة للقيام بهذا العبء مساوية:

$$\text{كتلة الدسم} = \frac{7100Kj}{39.9KJg^{-1}} = 180(g)$$

أو $0.18\ Kg$

يبين المثال السابق أن الشخص يستهلك تقريباً $180\ g$ من الدسم أثناء القيام بمجهود التجذيف على الدراجة وإذا لم يتوفر له هذه الكمية من الغذاء فإنه يستهلكها من تخزين جسمه للمواد الدسمة وبذلك تفيد مثل هذه الجهود في تخسيس الجسم من الدهون.

6. 20. فعالية الأغذية المستهلكة

تستخدم الفعالية البشرية الطاقة الكيميائية للغذاء والذي ينتج عملاً يمكن تعريفه بعدة طرق. إن الاتفاق المتفاهم عليه هو مقارنة النسبة المقيسة بين العمل الميكانيكي مع الاستقلاب الحالي خلال ممارسة هذا النشاط. نعرف الفعالية e بأنها نسبة العمل الميكانيكي خلال واحدة الزمن مقسوماً على فرق الطاقة الداخلية بين ممارسة النشاط مطروحاً من الطاقة الداخلية للحالة الدنيا حسب العلاقة:

$$e = \frac{100\dfrac{\Delta W}{\Delta t}}{\left[\dfrac{\Delta U}{\Delta t} - \left(\dfrac{\Delta U}{\Delta t}\right)_{basal}\right]}\%$$

$basal$ = الحالة الدنيا من تغير الطاقة الداخلية بالنسبة للزمن.

مثال:

امرأة لها من العمر عشرون عاماً تزن *50 Kg*. تصعد جبلاً ارتفاعه *1000m* خلال *4* ساعات. نسبة استقلابها أثناء الصعود بالنسبة لواحدة الكتلة تساوي *7* WKg^{-1}. *a*) ما هو الفرق بين استقلابها أثناء الصعود واستقلابها أثناء الراحة. *b*) ما هي قيمة العمل أثناء الصعود. *c*) احسب قيمة الفعالية (*e*).

الحل:

a) بما أن قيمة الاستقلاب الأساسي للنساء يساوي $1.1\ W\ Kg^{-1}$ فيكون فرق الاستقلاب بالنسبة لواحدة الكتلة مساوياً:

$$(7\text{-}1.1)\ WKg^{-1}=5.9\ WK^{-1}$$

ويكون الفرق بين القيمتين يساوي:

$$\left[\frac{\Delta U}{\Delta t}-\left(\frac{\Delta U}{\Delta t}\right)_{basal}\right]=(50Kg)\left(5.9WKg^{-1}\right)=295W$$

b) إن قيمة العمل خلال عملية الصعود يساوي إلى الطاقة الكامنة:

$$\Delta W = mgl = (50Kg)\left(9.8mS^{-2}\right)(1000m)$$
$$= 4.9\times10^{5}\text{J}$$

العمل مقسوماً على الزمن الكلي الذي قدره *4* ساعات.

$$\frac{\Delta W}{\Delta t}=\frac{4.9\times10^{5}\text{J}}{1.44\times10^{4}\text{S}}=34W$$

وهذا هو العمل خلال واحدة الزمن.

c) أما قيمة الفعالية فتساوي:

$$e=\frac{100\dfrac{\Delta W}{\Delta t}}{\left[\dfrac{\Delta U}{\Delta t}-\left(\dfrac{\Delta U}{\Delta t}\right)_{basal}\right]}=\frac{100\times34W}{295W}=11.5\%$$

يمكن القول إذن أن المرأة تستفيد من الغذاء بنسبة *11.5%* للقيام بهذا العمل.

مسائل الفصل السادس

1- استنتج معدل الزيادة في سمك الجليد على سطح بحيرة تحت تأثير الظروف الآتية:

درجة حرارة الماء في البحيرة ($0\ C^o$)

درجة حرارة الهواء ($-12\ C^o$)

سمك طبقة الجليد ($0.03\ cm$)

معامل التوصيل الحراري للجليد ($2.1\ Wm^{-1}K^{-1}$)

كثافة الجليد ($920\ Kg^{-3}$)

الحرارة الكامنة لانصهار الجليد ($3.3.10^5\ J\ Kg^{-1}$)

والمطلوب :

1- ما هو الزمن اللازم لزيادة سمك الجليد بمقدار ($1\ mm$)

2- ما هو المعدل عندما يتضاعف سمك الجليد.

2- كرة من النحاس كتلتها ($0.1\ Kg$) علقت بواسطة سلك من النحاس، قطره ($1.2\ mm$) وطوله ($0.08\ cm$) في وسط إناء مفرغ، فإذا أهملت كمية الحرارة التي تفقد بالإشعاع، وثبت طرف السلك عند درجة حرارة ($15C^o$)، فما هو معدل التغير في درجة حرارة الكرة عندما تكون درجة حرارتها ($80C^o$)، إذا علم أن الحرارة النوعية للنحاس ($390\ J\ Kg^{-1}K^{-1}$) وأن معامل التوصيل الحراري للنحاس ($400\ W\ m^{-1}K^{-1}$)

3- خزان مكعب الشكل مليء بماء في درجة حرارة ($90C^o$)، تم عزله تماماً بمادة عازلة، معامل التوصيل الحراري لمادتها ($6.4.10^{-2}W.m^{-1}K^{-1}$)، فإذا كان طول ضلع المكعب هو ($1m$) وسمك الطبقة الهازلة هو ($0.01\ m$)،

احسب معدل انتقال الحرارة خلال طبقة المادة العازلة، إذا كانت درجة حرارة السطح الخارجي للعازل هي ($40C^o$)

4- يتكون جدار من طبقتين من الخشب، سمك كل منها ($3\ cm$) بينما طبقة من مادة عازلة سمكها ($0.01\ m$)، ما هو معدل انتقال الحرارة خلال وحدة المساحات من هذا الجدار، إذا كانت درجتي حرارة وجهي الجدار هما ($0C^o$) و ($20C^o$)، علماً بأن معامل التوصل الحراري للخشب هو ($2.4\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$) ومعامل التوصيل الحراري للمادة العازلة هو ($0.24\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$).

5- أنبوبة أسطوانية من النحاس قطرها الداخلي ($0.075\ m$) والخارجي ($0.080m$) يمر بها ماء متوسط درجة حرارته ($75\ C^o$) غطيت هذه الأنبوبة بطبقة من مادة عازلة سمكها ($1\ cm$) ومعامل توصيلها الحراري ($0.4\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$) وكان معدل فقدان الحرارة من سطحها الخارجي ($20\ W\ m^{-1}$) لكل درجة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط، احسب درجة حرارة السطح الخارجي للعازل ومعدل فقدان الطاقة الحرارية من سطح متر طولي من الأنبوبة إذا علمت أن متوسط درجة حرارة الوسط المحيط ($16C^o$)

6- وضع جسم في وعاء مفرغ محاط بجليد مجروش في درجة حرارة ($0\ C^o$)، فإذا كانت درجة الحرارة الابتدائية لهذا الجسم ($300C^o$) ويبرد داخل الوعاء بمعدل ($0.35C^oS^{-1}$)، احسب ثابت ستيفان إذا علم أن كتلة الجسم ($0.32\ Kg$) وحرارته النوعية هي ($420\ J\ Kg^{-1}K^{-1}$) ومساحة سطحه ($8\ cm^2$) ويمكن اعتباره جسماً أسود.

7- احسب الطاقة التي تفقد من سطح كرة قطرها ($10^{-2}m$) وانبعاثية سطحها (0.6) إذا علقت في حيز درجة حرارته ($300K^o$) وثبتت درجة حرارتها بواسطة سخان كهربائي عند درجة حرارة ($500K^o$) علماً بأن ثابت سيفان

($5.67.10^{-8} W\ m^{-2}K^{-4}$) وأن الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال سلك التعليق يمكن إهمالها.

8- أنبوبة طولها متر مصنوعة من مادة عازلة معامل التوصيل الحراري لمادتها ($0.005\ J\ m^{-1}S^{-1}K^{-1}$) فإذا كان نصفا قطراها الداخلي والخارجي هما ($2cm, 3cm$) على الترتيب وكانت درجة حرارة السطح الداخلي والخارجي ($227C^o, 127C^o$) على الترتيب ودرجة حرارة الوسط الموجودة فيه ($27C^o$)، احسب كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال جدارها في الساعة؟ وإذا كانت الحرارة المفقودة بالإشعاع تساوي (0.06) من كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل، احسب معامل إصدار السطح الخارجي.