الفيزياء البيئية

الجزء الأول

(ترجمة كتاب لـ M. Delalija: Environmental Physics)

د. كمال فهمى محمد محمود
مدير عام الشئون الدولية

مقدمة

الطبيعة تمتلك ثراءاً مدهش عبر كلا من النطاقات المكانية والزمانية التى يحدث فيها مختلف العمليات وتفاعلاتها مع بعضها. نحن نعرف من تجربتنا أن الرياح والمحيطات تتحرك وأرضنا ليست ساكنة. والانجراف للقارات يمكن أن يكون له تأثير كبير على حد سواء لكلا من المناخ والحياة. باستثناء ظواهر محلية مثل الزلازل، والانهيارات الأرضية، والجبال الجليدية، والإطار الزمنى للحركة القارية هو مقياس لآلاف الملايين من السنين. ومعرفة كيف أن الأرض تتفاعل مع الهواء والماء والحياة أمرا أساسيا لفهم الأرض كنظام، ومعرفة كيف ولماذا تحدث التغييرات فى نظام الأرض على مر الزمن الجيولوجى يسمح لنا لمعايرة الأدوات اللازمة للتنبؤ بالتغيرات العالمية.

الأرض هى مكان رائع ومنذ تشكيلها قبل ٤,٦ بليون سنة وكل الكائنات الحية والغير حية فى تطور دائم. والبيئة العالمية تتكون من العلاقات بين الأرض والجو والمحيطات والمحيط الحيوى. ومع ذلك، فى تقدير بيئتنا فمن الضرورى أن نفهم العلوم الأساسية المادية التى تنظم تطورها.

فى العقود القليلة الماضية تم اكتشاف وجود تأثير ضار على الكوكب وقد سبب هذا قلقا متزايدا للإنسانيه. كاكتشاف ثقب الأوزون، وأول علامات الاحتباس الحرارى، وانتشار ظاهرة الأمطار الحمضية والأدلة المتنامية على المشاكل الصحية الناجمة عن التلوث فى المناطق الحضرية، وقد اجتذبت اهتمام العالم بأسره، وخاصة فى المجتمعات العلمية والسياسية لمحاولة معرفة الأدلة الفعلية لمثل هذه الظواهر وما هى الإجراءات التى ينبغى اتخاذها لتخفيف هذه الآثار.

هذه المشاكل البيئية لا يمكن معالجتها على نحو شامل من خلال النظر خلال عدسة محدودة أو من جانب بعض التخصصات التقليدية التى نشأت فى الأوساط الأكاديمية، مثل، الفيزياء، الكيمياء، البيولوجى، والهندسة، أو الاقتصاد. فمن الصعب أن تُحل معظم المشاكل العالمية دون الحصول على المعلومات المفصلة وإيجاد السبل لفهم وتقييم الأخطار المحتملة على الأرض والناجمة عن استغلال مواردها وتطوير الصناعة، وهذا أدى إلى الحاجة إلى فرع جديد من العلوم يسمى،الفيزياء البيئية، وقد تم الاهتمام بهذا الفرع من العلوم فى السنوات الثلاثون الماضية، والتى هى مكرسة

لدراسة القضايا البيئية.

الفيزياء البيئية هو علم متعدد الاختصاصات والذى يدمج العمليات الفيزيائية فى التخصصات التالية:

- الغلاف الجوى
- المحيط الحيوى
- الغلاف المائى
- الغلاف الأرضى.

إذًا الفيزياء البيئية يمكن أن تُعرف بأنها استجابة الكائنات الحية إلى البيئة فى إطار فيزياء العمليات وقضايا البيئة داخل هياكل العلاقة بين الغلاف الجوى والمحيطات.

- البيئة البشرية، والبقاء على قيد الحياة والفيزياء.
- البيئة المبنية.
- البيئة الحضرية.
- الطاقة المتجددة .
- الاستشعار عن بعد.
- الطقس.
- المناخ وتغير المناخ .
- الصحة البيئية.

كى نفهم كيف يمكن لأى عملية محددة البيئة أن تتطور، فمن الضرورى أن نفهم أن جميع العمليات مترابطة داخليا مع بعضها البعض. فعلى سبيل المثال، تشكيل وانتقال الغيوم توضح جانب واحد من عدد من العمليات البيئية العالمية والتى تتطلب دراسة:

- تحولات الإشعاع الشمسى، والتوازن الإشعاعى.
- مرحلة التغيرات فى دورة المياه
- رصد الظواهر الفيزيائية
- التبادلات بين الأرض والمحيطات والغلاف الجوى والمحيط الحيوى
- ظواهر النقل ونقل الطاقة الحرارية.

والبيئة يمكن تعريفها بأنها الوسط الذى يحيط بأى كائن. على سبيل المثال، لسحابة، قد تكون بيئتها المنطقة من الغلاف الجوى الذى تتكون فيه، فى حين أن للمصنع، هو الحقل الذى يقع فيه، أو أنها لحوت هو البحر الذى يسبح فيه. وبالتالى، فإنه من المفيد مناقشة القضايا البيئية فى سياق المناطق المحيطة بها. فى ما يلى فصول من التطبيقات لمبادئ الفيزياء والعمليات البيئية وسوف نناقش المشكلات فى سياق القضايا البيئية الراهنة.

البيئة الإنسانية

الكائنات الحية عليها التكيف والبقاء على قيد الحياة فى مجموعة متنوعة من الظروف البيئية، بما فيها المناخات الحارة والباردة. وجميع هذه الكائنات تتصف بظاهره الديناميكا الحرارية التى تتسم بتدفق الطاقة داخل الجسم، وبين الجسم والبيئة. ولأجل إبقاء البشر على قيد الحياة، لابد من المحافظة على درجة حرارة الجسم الأساسية فى غضون نطاق ضيق لدرجات الحرارة المئوية يتراوح من ٣٥ إلى ٤٠ درجة مئويه.

والتنظيم الحرارى يحكمه القوانين والمفاهيم التالية للفيزياء:

- قوانين الديناميكا الحرارية .
- مبادئ الانثيربى، وطاقة جيبس الحرة .
- مبادئ التوصيل، الحمل الحرارى والإشعاع والبخر .
- قانون نيوتن للتبريد .
- قوانين فين وستيفان بولتزمان الإشعاع.

وقد تمكن البشر من العيش فى كل البيئات المختلفة الحالية فى جميع أنحاء الأرض: من منطقة القطب الشمالى لصحراء منغوليا، وفى أدغال أفريقيا إلى الجزر المرجانية فى المحيط الهادئ. الثدييات، بما فى ذلك البشر،لديهم قدرة ملحوظة على الحفاظ على درجة حرارة الجسم ثابتة، على الرغم من التغييرات الجذرية فى الظروف البيئية وهذا عن طريق ضبط معدل الطاقة المنتقلة أو المفقودة والطاقة المنتجه.

وكوكب الأرض يوفر الظروف البيئية والأيكولوجية لكثير من الذين يعيشون عليه من أجل البقاء والتطور. ومن أجل أن تستمرالحياة لا ينبغى أن نركز فقط على الكيمياء والكيمياء الحيوية للتفاعلات الأيضية، ولكن أيضا فيزياء العمليات الحرارية. ولذلك فمن الضرورى مناقشة قوانين الديناميكا الحرارية لمعرفة مدى انطباقها على عملية الأيض فى طاقة الجسم.

الطاقة والأيض

الأيض هو مجموع كل العمليات الكيميائية التى تحدث فى خلايا الجسم. وهو يتألف من الانابوليزم وهى عملية بناء الجزيئات والكانابوليزم وهى عملية تكسير الغذاء المستهلك بواسطة الانزيمات عن طريق التحليل المائى وعلى المستوى الخلوى أنزيمات التحطيم الغذائية المستهلكة عن طريق التحليل المائى، وعلى المستوى الخلوى يشتمل على عملية الفوسفورواليسيس. معدل الأيض الأساسى هو معدل توليد الطاقة الكافية لتحقيق الوظائف الحيوية للجسم فى حالة الراحة أو النوم مثال التنفس، والحفاظ على درجة حرارة الجسم، ونبضات القلب وإنتاج الأنسجة. وهومساويا تقريبا لمعدل الأيض أثناء النوم، وأثناء الراحة، حيث أن معظم الطاقة تتبدد على هيئة طاقة حرارية. ومعدل الأيض يمكن حسابه بالاستخدام المباشر للطريقة السعرية أو عن طريق استخدام مقياس التنفس، والذى يقيس استهلاك الأكسجين فى التنفس لمرة وحدة. فى طريقة قياس السعرات الحراريه، يوضع الشخص فى غرفة يمر خلالها أنابيب تنقل المياه. ويمكن حساب كمية الطاقة المنتجة من خلال الطاقة التى اكتسبتها المياه التى تمر عبر الأنابيب. فى عملية قياس التنفس، تكون الطاقة المتولدة متعلقة بكمية الأكسجين التى اتخذت فى أثناء التنفس، ومن ثم يمكن قياس معدل الأيض.

معدل الأيض بالنسبة للرجل.

$170\ Kjm^{-2}h^{-1}$ معدل الأيض بالنسبة للمرأة.

$155\ Kjm^{-2}h^{-1}$ ولذلك يكون المعدل لرجل المساحة السطحية لحسمه ١,٨ متر مربع حوالى ٧٣٠٠ كيلوجول فى اليوم وهو ما يعادل ٨٥ واط. وخلال النهار، بالإضافة إلى الاحتياجات الأساسية، سوف نحتاج إلى الطاقة اللازمة للأعمال الميكانيكية وممارسة الرياضة البدنية. وتكون الطاقة المستهلكة فى حالات مختلفة هى:

- النوم: ٧٥ واط،
- الجلوس: ٨٠-١٠٠ واط،
- المشى: ١٥٠-٤٥٠ واط،
- الجرى بسرعه: ٤٠٠-١٥٠٠ واط.

الشخص العادى يحتاج إلى ٤٢٠٠ كيلوجول إضافية (طبيعية) ليوم عمل ، وهكذا يكون مجموع الاحتياجات حوالى ١٢٠٠٠ كيلو جول فى اليوم الواحد. وحيث أن الكربوهيدرات تمدنا بحوالى ١٧ كيلوجول / جرام، بروتينات، ٣٨ كيلوجول / جرام والدهون ١٧ كيلوجول / جرام، فيمكننا عن طريق ضبط الكميات المختلفة من هذه المواد تحقيق هذا الرقم.

وعليه تشتمل عملية الأيض على العمليات الكيميائية فى الجسم والتى يتم من خلالها نقل الطاقة بين المركبات الكيميائية المختلفة والتى تولد الطاقة الحرارية أيضا. إذا كان معدل التفاعلات الأيضية يزداد، فإن معدل توليد الطاقة يزداد أيضا. فالناس تحتاج إلى كميات معينة من الطاقة لتحقيق بعض المهام.، على سبيل المثال، لأداء رياضى والبقاء على قيد الحياة. فالرجل المستقر الذى يكون وزنه حوالى ٧٠ كيلو جرام يمكن أن ينتج الطاقة فى حدود ٨٠ واط.

الديناميكا الحرارية والجسم البشرى

يتنفس البشر الأكسجين، ويتناولوا الطعام، والذى يتكون من الكربوهيدرات، والدهون، الزيوت والبروتينات. الكربوهيدرات والتى

تتحول إلى جلوكوز، والبروتينات تتحول إلى أحماض أمينية، والدهون تتحول إلى أحماض دهنية. ثم ينقل الدم هذا، جنبا إلى جنب مع الأكسجين، إلى الخلايا، حيث الإنزيمات، والتى هى عوامل بيولوجية، والتى تحول الجلوكوز إلى حمض البيروفيك من خلال عملية تحلل. والأحماض الدهنية وكثير من الأحماض الأمينية تتحول إلى حمض الاثيتواثيتك والذى يتحول إلى الأسيتيل وبمعدل سريع ينتج الادينوساين ثلاثى الفوسفات وثانى أكسيد الكربون وماء. هذه العملية برمتها ما يسمى دورة كريبس.

الأدينوساين ثلاثى الفوسفات يولد الطاقة التى يمكن أن تستخدمها الخلايا. ويتم تخزين الطاقة فى روابط الفوسفات عندما يتم تحويل الأدينوساين ثنائى الفوسفات إلى دينوسين ثلاثى الفوسفات، وتفقد الطاقة عندما يتم تحويل الأدينوساين ثلاثى الفوسفات إلى الأدينوساين ثنائى الفوسفات. عندما يتم إطلاق الطاقة فإنها تأخذ شكل حرارة والتى يتم نقلها بواسطة الدم إلى جميع أنحاء الجسم. كما تنتقل الطاقة من الخلايا إلى المناطق المحيطة بها عن طريق التوصيل بسبب التدرج الحرارى الذى ينشأ بين الخلايا وبيئتهم المحيطة.

فقدان الطاقة الحرارية من الجسم يتحقق من خلال التوصيل،الحمل الحرارى والإشعاع والتبخر من الجلد، وخلال التنفس. فى الأجسام البشرية يتم نقل الطاقة إلى المناطق المحيطة بها من خلال الجلد عندما يواجه الهواء فى الخارج. ومن ثم يحدث التبريد، وبما أن هناك تدرج فى درجة الحرارة بين قلب الجسم وسطح الجلد فإن درجة حرارة الجسم مستقرة طالما أن إنتاج الطاقة يساوى فقدان الطاقة.

الكائنات الحية هى أيضا كيانات تنطبق عليها الديناميكا الحرارية، ففى أجسامها أيضاً تتسم العمليات الحرارية بعمليات تدفق للطاقة سواء داخل الجسم أو بين الجسم والبيئة المحيطة به. بالنسبة للجنس البشرى لكى يستطيعون البقاء على قيد الحياة، لابد من المحافظة على درجة الحرارة للجسم ضمن نطاق ضيق من درجات الحرارة من ٣٥ - ٤٠ درجة مئوية ودرجة حرارة الجسم الطبيعية هى ٣٧° م ولهذا يكون هناك ميل فى درجة الحرارة يجعل الطاقة تتحرك بعيدا عن مركز الجسم. وبالتالى يمكن القول أنه يوجد انخفاض (ميل) فى درجة الحرارة بين الشخص والبيئة المحيطة به بل أيضاً يوجد انخفاض تدريجى داخل الجسم نفسه.

ما هى أهمية الفيزياء فى مناقشة الطاقة والأيض؟ فالفيزياء تدعم العمليات الكيميائية الحيوية التى توفر لنا الطاقة.

القانون الأول للديناميكا الحرارية والجسم البشرى

فى حالة اتزان الطاقة، فى ظل ظروف مستقرة تكون فيها درجة حرارة مركز الجسم ودرجة الحرارة المحيطة ثابتتين، فإن كمية الطاقة المنتجة سوف تساوى كمية الطاقة المتبدده. وبالتالى، فمن الممكن أن نطبق القانون الأول للديناميكا الحرارية على الجسم. مجموع الطاقة المنتجة فى الجسم تسمى بمعدل الأيض.وهذا يساوى إجمالى إنتاج الطاقة الأيضية للجسم والعمل الخارجى الذى قام به الجسم ، عن طريق التعبير:

$$dM=dH+dW$$

حيث dHالطاقة الكلية للعمليات الأيضية، dW الشغل المبذول بواسطة الجسم. والطاقة الكلية المنتجة من العمليات الأيضية تختلف من شخص إلى آخر وهذا يعتمد على النشاط وعلى مساحة سطح الجسم وفى المتوسط تكون مساحة سطح الجسم للإنسان حوالى ١,٨٤ متر مربع وتكون الكتلة للرجال حوالى ٦٥-٧٠ كجم وللاناث ٥٥ كجم.ويكون معدل الأيض حوالى ١٠٠ واط للشخص المستقر ويساوى ٤٠٠ واط لشخص

يعمل فى أعمال شاقه.

الطاقة التى تنتقل من العمليات الأيضية يحكمها القانون الاول للديناميكا الحرارية، ويمكن تطبيقه لتحديد كمية الطاقة المتولده.فى حالة انعدام الشغل المبذول فإن الطاقة المتولدة من التفاعلات الكميائية تتحول بأكملها إلى طاقة حراريه. أى أن

$$dM=dU$$

القانون الثانى للديناميكا الحرارية والجسم البشرى

إذا كانت عملية الأيض الغذائى تحدث فى اتجاه معين، هل يمكن أن تحدث أيضاً فى الاتجاه المعاكس ؟ القانون الثانى يساعد على تفسير كل اتجاه، وتحقيق التوازن فى العمليات الأيضية، والآن يمكن أن نرى أن تعبير الانتروبى يمكن أن يساعد فى فهم الاتجاه الذى تتخذه عملية الأيض. كما يمكن أن يخبرنا ما إذا كانت عملية بالذات يمكن أن تحدث. خلال عملية أكسدة الجلوكوز فإن جزء من الطاقة يفقد بتحويله إلى طاقة داخلية للنظام وبالتالى، فإن العملية ليست بكفائة ١٠٠ ٪. هذا الجزء ينتج طاقة الحرارة وهو شرط أساسى للحفاظ على درجة حرارة مركز الجسم الأساسية. وهذه الطاقة هى القوة الدافعة التى تُسير عملية التمثيل الغذائى(الأيض) فى اتجاه معين.

إذا سقط الجسم من ارتفاع معين فإن الطاقة الكامنة فى هذه الحالة تتحول إلى الطاقة الحركية ثم إلى حرارة، وصوت، ومن الممكن أيضاً إلى ضوء وكنتيجة لذلك فإن الانتروبى للبيئة المحيطة بالجسم سوف تزداد. وتكون التغير فى الانتروبى دالة فى الطاقة المنتقلة من الجسم وبالتالى يكون

$$dS_{environment} = - dQ_{body}/T$$

على المستوى الخلوى، يفترض أن تكون الكميات فى هذه المعادلة متجهه. هذا يعنى أنه إذا كانت الطاقة مفقودة من الجسم، فإنها تأخذ إشارة سالبة ولذلك سوف تزداد $ds_{environment}$.

إذا كانت الانتروبى تخبرنا عن اتجاه التغيير اللحظى ، قد يكون من المفيد لتطوير المعايير معرفة استعداد نظام لتوفر الطاقة الحرة للقيام بعمل مفيد. المعايير يتم توفيرها من قبل فكرة طاقة جيبس الحرة .لذلك يمكن التعبير عن القانون الأول للديناميكا الحرارية على النحو التالى:

$$dQ=dU+p.dv$$

حيث P الضغط، dv التغير فى الحجم والقانون الثانى يمكن التعبير عنه كما يلى

$$dS=dQ/T$$

ولذلك

$$TdS=dU+p.dv$$

حيث dS هو التغير فى الانتروبى بالنسبة لتغير فى الطاقة dQ . لذلك يكون التغيير فى الطاقة الداخلية $dU= T. dS -p. dv$

هذه هى معادلة جيبس وتشتمل على فكرة درجة الحرارة وتربط القانون الأول والثانى من قوانين الديناميكا الحرارية. درجة الحرارة هى سمة من سمات أى نظام حرارى. ويمكن أن تطبق على أى من النظم الفيزيائية (أو على النظام البيوفيزيائى كجسم الإنسان). باستخدام تعريف الانتروبى التالى:

$$H=U+pv$$

$$dH= dU+p.dv+v. dp=T. dS+v.dp$$

وبالتالى، فمن السهل أن نعبر عن طاقة جيبس الحرة

$$G = U - Ts + pv$$

ولذلك فمن السهل أن نعبر عن التغير فى الطاقة

$$dG = dH - T.ds$$

المعادلة المذكورة أعلاه تعطى إمكانية الحد الأقصى لعملية بذل شغل. هذا يعنى أن الطاقة الحرة لا تأتى من لا شىء. ولكنها الطاقة المتاحة للعمل والتغير فيها هو الذى يحدد الاتجاه الممكن لعملية التمثيل الغذائى. إذا كانت سالبة يتم إطلاق الطاقة الحرة وتتم عملية التمثيل الغذائى أما إذا كانت موجبة فإن العملية لن تحدث.

وإلى اللقاء فى العدد القادم