

## الأنتروبيا: أو عندما ينتج النظام من الفوضى.

Entropy: Or when a system arises from chaos.

كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية، جامعة حسيبة بن بوعلي بالشلف/ الجزائر	داود خليفة* DAOUD KHELIFA (k.daoud@univ-chlef.dz)
---	--

الإرسال: 2021/02/28 القبول: 2021/03/31 النشر: 2021/05/14

### ملخص:

سعت الفيزياء إلى نمذجة الظواهر والتفاعلات الطبيعية باستخدام العلم الرياضي، عن طريق صهر الظواهر الطبيعية في قوالب رياضية، ومن ثمّ يمكن حساب ووصف هذه الظواهر على شكل اقتران رياضي. لكن النتائج تبين دائما السلوك المعقد للمنظومات الناتج عن المعادلات المفترضة، أي أن هذه المنظومات تبدي حساسية مفرطة للشروط الابتدائية أو للنموذج الرياضي، وحساسية هذه المنظومة للشروط المبدئية، يعني أن التنبؤ الدقيق بمستقبل هذه المنظومة مستحيل، ويعني من جهة أخرى وجود فوضى خلف النظام. كلمات مفتاحية: الأنتروبيا؛ النظام؛ الفوضى؛ المنظومة؛ الديناميكا الحرارية. كلمات مفتاحية: الأنتروبيا؛ النظام؛ الفوضى؛ المنظومة؛ الديناميكا الحرارية..

### Abstract:

Physics sought to model phenomena and natural interactions using mathematical science, by melting natural phenomena into mathematical templates, and then these phenomena can be calculated and described in the form of mathematical conjunction. But the results always show the complex behavior of the systems resulting from the assumed equations, that is, these systems show excessive sensitivity to the elementary conditions or to the mathematical model, and the sensitivity of this system to the initial conditions, means that accurate prediction of the future of this system is impossible, and on the other hand, it means the existence of chaos behind the system.

**Keywords :** Entropy; Order; Chaos; System; Thermodynamics.

\*- داود خليفة : [k.daoud@univ-chlef.dz](mailto:k.daoud@univ-chlef.dz)

## مقدمة.

يندرج مقالنا ضمن ابستمولوجيا العلم المعاصر، حيث تميزت الحقبة المعاصرة بقدرة الفكر العلمي الجديد على تقديم نماذج معرفية صنعتها عدة نظريات، كان من أشهرها: نظرية النسبية وميكانيكا الكم... والكثير من النظريات العلمية الأخرى. وهي نظريات وإن اختلفت عن بعضها البعض إلا أنها تشترك في تصور عام؛ وهو منح الأهمية لما هو غير قابل للتنبؤ، وهي بذلك تحدث تغيرا جذريا للتصور العلمي في العصر الحديث ولثوابت وأسس المنظومة الابستمولوجية الكلاسيكية القائمة على السببية الحتمية والاطراد والتنبؤ.

وقد صاحب ذلك تغير في بعض مفاهيم العلم الأساسية، وبرزت أبحاث تسعى إلى الكشف عن تفاصيل الظواهر الطبيعية؛ فاستنتج بعض العلماء أن ظواهر الطبيعة غير مطردة وغير منتظمة، وأن خلف النظام البادي لنا الكثير من الفوضى التي لا يمكن توقعها، فانتقل البحث عن النظام إلى البحث عن الفوضى، الأمر الذي أدى إلى قيام نظرية تهتم بدراسة النظم والظواهر الفوضوية.

والسؤال الذي نثيره هنا: كيف يتولد النظام عن هذه الفوضى؟ وهل يمكن أن تكون الفوضى قانونا للطبيعة؟

أما الفرضية المنطلق منها في بناء هذه الإشكالية هي الإيمان بوجود ظواهر أو منظومات لا تخضع للتحديد الدقيق، ومن ثمّ فهي لا يمكن وصفها إلا بكونها نظم فوضوية. ولأجل الوصول إلى جواب عن الإشكالية المطروحة وإثبات صحة الفرضية اعتمدنا على المنهج التحليلي؛ والذي تمثل في تحليل النظريات والمعطيات العلمية الجديدة التي تثبت وجود ظواهر فوضوية لا تخضع لأي نظام ظاهر. وقد بدأنا بحثنا بالتحديد الدلالي لمصطلح أنثروبيا، ثم كيف ظهر هذا المصطلح لأول مرة في علم الديناميكا الحرارية، ثم حددنا معنى الفوضى أو ما يصطلح عليه بـ"الكاوس" وكيف يتولد النظام من وراء الفوضى، وفي الأخير بيّنا كيف يتفاعل النظام والفوضى في الكون.

### 1. ما الأنثروبيا؟

الأنثروبيا هي أحد المبادئ الأساسية في الكيمياء الفيزيائية، وهذا المصطلح من اللغة اليونانية يعني "التحول"؛ والذي استخدم للتعبير عن قابلية تحول الطاقة. كما تعني الأنثروبيا "القصور الحراري" وتعني بشكل ما تعبير عن الفوضى. والأنثروبيا هي مقياس الفوضى داخل نظام ما؛ من حيث إن الظواهر الفيزيائية المختلفة التلقائية لا بد أن يصاحبها زيادة في العشوائية. والعشوائية

هنا هي كمية فيزيائية كغيرها من الكميات الأخرى كالوزن والكثافة والطول والسرعة، لها رمز ووحدة قياس، حيث يرمز لها باللاتينية (S)، ووحدة قياسها هي جول/كيفلن، وكلما زاد استقرار النظام قلت الأنتروبيا.

استخدم العالم رودولف كلاوسيويس 1822 – 1888 R. Clausius هذا المصطلح في هذا العلم سنة 1865م كمقدار في حالة فيزيائية يعطي درجة اللانعكاس في العمليات الترموديناميكية وخاصة تحول الطاقة. إن العمليات التي يمكن أن تحدث تلقائيا في الجمل المعزولة كانتقال الحرارة وانتقال الغاز وامتزاج الغازات.. هي فقط العمليات التي تزداد فيها أنتروبيا الجملة. وتستطيع العملية أن تجري تلقائيا حتى الحالة التي تحصل فيها الأنتروبيا على القيمة القصوى في هذه الظروف، فانتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم أبرد ترافقه دائما زيادة في الأنتروبيا الكلية لهذين الجسمين، وتبلغ هذه الأنتروبيا قيمة عظمى عندما تتساوى درجة حرارة الجسمين (كريف، ف، دت، 269).

## 2. الديناميكا الحرارية وظهور الأنتروبيا:

ارتبطت الأنتروبيا بالقانون الثاني في علم الديناميكا الحرارية (الترموديناميك)؛ حيث يوجد في علم الديناميكا الحرارية ثلاث قوانين أساسية، وحتى يتسنى لنا فهم هذه القوانين وكيف ارتبط مفهوم الفوضى بالقانون الثاني منها، يجدر بنا أن نتابع بصورة موجزة التطور التاريخي لهذا العلم: من الناحية التاريخية تطور في البداية الترموديناميك الظواهري الذي يعالج الخواص والعمليات الماكروسكوبية المرئية دون الاهتمام بالخواص والعمليات الذرية والجزيئات. ثم نشأ بعد ذلك الترموديناميك الإحصائي الذي يعتمد على حركة الذرات والجزيئات وتفاعلها (مطلب، م، 1985، 20). وفي منتصف القرن التاسع عشر تحول علم الحرارة إلى الترموديناميك كجزء من الفيزياء النظرية، مستقلة عن الميكانيك، وذلك بعد دراسة أساليب قياس كميات الحرارة بصورة منتظمة ومعالجة ظواهر التوصيل الحراري رياضيا. كما طور سادي كارنو 1796 – 1832 S. Carnot بعض الأفكار المتعلقة بالعلاقة الكمية بين وحدات الحرارة والطاقة الميكانيكية، بعد ما اعتبر الحرارة شكل من أشكال الطاقة.

وقد ساهمت أبحاث كل من روبرت فون ماير 1814 – 1878 R. V. Mayer و جيمس جول 1818 – 1889 J. B. Jolle وهلمهولتس 1821 – 1894 Helmholtz في صياغة القانون الأساسي الأول للترموديناميك. وقام لودفيغ بولتسمان 1844 – 1906 L. Boltzmann بتفسير الكميات القابلة للقياس في الترموديناميك مثل درجة الحرارة، الضغط، كمية الحرارة... بواسطة حركة الدقائق الصغرى للمادة، واعتبار الحرارة طاقة حركية للجزيئات (مطلب، م، 1985، 23).

وتمت صياغة القانون الثاني للثرموديناميك من طرف كل من وليام طومسون 1824 – 1907 و W. Thomson و رودولف كلاوسسيوس هذا الأخير الذي طور مفهوم الأنتروبي الذي ارتبطت به نظرية الفوضى. والحقيقة أن الفيزيائي الفرنسي نيكولاس كارنو 1797 – 1832 هو أول من قال بالقانون الثاني سنة 1824، لما درس تدفق الحرارة في المحرك البخاري، لكن هذا القانون ينسب للفيزيائي الألماني رودولف كلاوسسيوس الذي افترض أن عملية التعادل أي التوزيع المتعادل للطاقة يمكن تطبيقها على كل أشكال الطاقة وكل الحوادث في الكون، مبينا أن هناك قيمة لها أهمية في عملية التبادل، أطلق على هذه القيمة اسم أنتروبي، لذلك اعتبر بأنه هو مكتشف هذا القانون... وفي الأخير اكتشف فالتر نيرنست 1864 – 1941 W. Nernst القانون الثالث المسى قانون الصفر المطلق اعتمادا على أبحاث ماكس بلانك 1858 – 1974 M. Planck وألبرت إنشتاين 1879 – 1955 A. Einstein، ويمكن بسط تلك القوانين على النحو التالي:

#### القانون الأول أو قانون الشغل والطاقة:

الطاقة الكلية المحتواة في نظام معزول مغلق تبقى ثابتة – ويقصد بالنظام المغلق ذلك الذي لا يستلم طاقة من الخارج - فان اختفت كمية من نوع الطاقة نشأت نفس الكمية من الطاقة من نوع آخر. وإذا أدخل للنظام مقدار من الحرارة ازدادت الطاقة الداخلية للمقدار من ناحية، وأنجز النظام شغلا نحو الخارج (مطلب، م، 1985، 26 - 27). أي أن الطاقة في النظام تساوي الشغل المبذول زائد الطاقة الداخلية، وأن تغير الطاقة في نظام ما يساوي الطاقة الحرارية (المضافة أو المنتزعة) زائد الشغل (المضاف أو المنتزع). وهذا القانون «هو صيغة لمبدأ بقاء الطاقة، وأن أي عملية قد تخرق هذا القانون لا يمكن أن تحدث تلقائيا» (بوش، جيرد، دت، 473)، بمعنى أن هذا القانون قام على اكتشاف أن الحرارة شكل من أشكال الطاقة (ميكانيكية، كهربائية، كيميائية..). مع إمكانية أن تتحول إلى بعضها البعض بنسب ثابتة.

#### القانون الثاني أو قانون الأنتروبي:

الحرارة لا تنتقل بذاتها تلقائيا (دون فعل خارجي) من جسم أبرد إلى جسم أسخن، وبصفة عامة: كل حدث في الطبيعة يجري بحيث ينتقل النظام من حالة أقل احتمالا إلى حالة أكثر احتمالا (مطلب، م، 1985، 27)، ويعني أن تدفق الأنتروبية إلى داخل النظام ناقص تدفق الأنتروبية إلى خارج النظام زائد الأنتروبية المتكونة داخل النظام تساوي صفر. فهذا القانون «يحدد العمليات التي يمكن أن تجري عفويا أو تلقائيا (أي بدون شغل من الخارج)، وذلك عندما تكون درجة الحرارة والضغط والتراكيز وغيرها معلومة، كما يحدد كمية الشغل التي يمكن الحصول عليها عندئذ، ويعين مدى السير العفوي الممكن للعمليات، أي حالة التوازن في تلك الظروف» (كريف، ف، دت، 266)، أي أنه لا يمكن أن تحدث العمليات التي قد تنقص فيها الأنتروبي لنظام

معزول أو في كل عملية يخضع لها نظام معزول، وبالتالي فإنَّ الأنثروبي إما تزداد وإما تبقى ثابتة. وهذا القانون إنما يخبرنا بالاتجاه الذي يجري به تحول الطاقة في النظام؛ ففي النظام المغلق يبقى الأنثروبي ثابتا في العمليات الانعكاسية، ويزداد دائما في العمليات اللانعكاسية، ونحن نعلم أن العمليات الماكروسكوبية في الطبيعة لا انعكاسية؛ فعند وضع بعض قطع الثلج على ماء ساخن، سنجد أن الخليط يصل بعد فترة زمنية ما إلى درجة حرارة اتزان معينة بين درجتي الماء الساخن والثلج البارد، ولا يحدث مطلقا أن يصبح الثلج أكثر برودة وأن يصبح الماء أكثر حرارة. هذا بالرغم من أن الطاقة تظل محفوظة في الحالتين، أي أن جسمين يجري بينهما تبادل حراري مدة كافية، يوجدان بحالة موحدة تكون فيها درجة الحرارة مقياسا خاصا جديدا لحالة ويكون لكل من الجسمين نفس درجة الحرارة، ويوجدان في توازن حراري، «وهذا يدل على أن الطبيعة اتجاة مفضل لحدوث الأحداث التلقائية، كما لو أن الطبيعة قد أصدرت حكمها الأبدي بالألا يكون الزمن انعكاسيا، فالزمن كالسهم يسير في اتجاه واحد فقط. ومن ثم يجب أن تتبع كل العمليات الطبيعية ذلك المسار الذي اختارته الطبيعة لها» (بوش، جيرد، دت، 473).

#### القانون الثالث أو قانون الصفر المطلق:

ويسمى أيضا نظرية نيرنست الحرارية، وينص هذا القانون على أن تجري جميع الأحداث قرب الصفر المطلق دون التغير في الأنثروبي، وعند التقرب من الصفر المطلق يصبح معامل التمدد والحرارة النوعية في الضغط الثابت والحرارة النوعية في الحجم الثابت صفرا (مطلب، م، 1985، 29)، إذن هذا القانون يعالج السلوك الأنثروبي؛ مبينا أن الطاقة الداخلية والطاقة الحرة في درجة الحرارة المنخفضة جدا لا تتغير إلا تغيرا ضئيلا.

إن القانون الأول والثالث في الترموديناميك لم يؤديا إلى أي مشاكل، إذ هما يتسقان مع أسس الفيزياء الكلاسيكية. أما القانون الثاني - قانون الأنثروبي - فمجال تطبيقه أضيقت نظرا لطبيعته الإحصائية، ومن حيث هو يطبق فقط على الجمل المؤلف من عدد كبير من الجسيمات، أي الجمل التي تعجز قوانين الإحصاء على ضبط سلوكها، وبالتالي يكون هذا القانون أكثر قوانين الترموديناميك تعقيدا لأنه يقوم على الإحصاء الاحتمالي، وهو بذلك يتناقض تماما مع الفيزياء الكلاسيكية التي تقوم على التحديد المطلق من جهة، ويخبرنا من جهة أخرى أن النظام في الكون يتجه تجاه الفوضى والانظام.

### 3. فيزياء الفوضى: أو عندما يتولد النظام من الفوضى

نظرية الفوضى أو علم الكاوس من أحدث النظريات الرياضية الفيزيائية، وهو علم ينتهي من الوجهة الرسمية للرياضيات وهو فرع من فروعها، وهو علم يبحث ببساطة في النظم الديناميكية، وهي النظم التي تتغير عواملها، فتتغير نتائج طبقا لها (كلايك، ج، 2000، 11)، أي إن علم

الفوضى، ذلك العلم الناشئ، يتجه إلى دراسة هذه الظواهر لأجل التوصل إلى قوانين تحكم هذه الفوضى.

ويرجع نشوء الفوضى كفرع علمي قائم بذاته إلى أبحاث العالم الرياضي الأمريكي إدوارد لورنتس 1917 – 2008 E. Lorenz في الستينيات من القرن الماضي، الذي عمل راصدا للجو لصالح القوات الجوية الأمريكية. وقبل لورنتس، انتبه بعض علماء القرن التاسع عشر والقرن العشرين لبعض الظواهر الفوضوية أو الكاوسية مثل جاك هادمار 1865 – 1963 J. Hadamard وبيار دوهم 1861 – 1916 P. Duhem وقبلهم جيمس. ك. ماكسويل 1831 – 1879 J. C. Maxwell الذي قام بتطبيق الحسابات الإحصائية على جزيئات الغاز ليتوصل إلى فهم وتحليل الآليات المخفية التي تسبب الحركات والصفات الظاهرية للغازات كالحجم والحرارة والضغط. كذلك استطاع ماكسويل استخلاص النظام من الفوضى التحتية، وكانت النتيجة أن كثيراً من الحركات الظاهرية المنتظمة أو المحددة مبنية على أسس أكثر عشوائية. وكان من أسباب انتشار وتعمق هذا المفهوم مقارنة ماكسويل لنظريته الحركية للغازات بالظواهر الاجتماعية: مواليد، وفيات، انتحار... لكننا نعتقد أن الأب الحقيقي لنظرية الفوضى هو هنري بوانكاري 1854 – 1912 H. Poincaré الذي نشر بحثاً سنة 1890 بيّن فيه أن قوانين الفيزياء الكلاسيكية لا تقدم أي حل لمشكلة التنبؤ بحركات الأجسام الثلاثة: الشمس والقمر والأرض، حيث أن اختلافات طفيفة في الشروط المبدئية تحدث اختلافات عظيمة في الظواهر النهائية وتتحدى كل تنبؤ يمكن أن يقوم، فالظروف المحيطة بالظواهر تتميز بالتعقيد والتشابك، وبكفي أن يُخفى عنا عامل صغير لنخفق في تحديد النتائج. كما يمكن أن يكون لسبب صغير جداً يُستعصى إدراكه نتائج كبيرة، وعليه فإن الظواهر تخضع للصدفة لما تؤدي فروق صغيرة في الأسباب إلى إحداث فروق كبيرة على مستوى النتائج. لكن تلك الأفكار لم تتبلور إلا مع اختراع الحاسوب الذي مكّن العلماء من التعامل مع المعلومات على مستوى لم يكن متخيلاً من قبل.

وقد سادت نظرية الفوضى معظم المجالات كالموانع، التنبؤات الجوية، النظام الشمسي، الأسهم المالية المجتمع السكاني والحيواني والنباتي، العضوية الدقيقة ونماذج التسابق نحو التسليح... فكل مجال من هذه المجالات يسمى منظومة، وكل منظومة هي جزء من منظومة أكبر منها. وتتميز المنظومة بالتعقيد، بحيث تتألف من أجزاء كثيرة جداً، فيؤثر كل جزء في الأجزاء الأخرى، كما يتأثر هو بها كذلك.

والموضوع الذي تتناوله نظرية الفوضى هو دراسة النظم المعقدة والديناميكية التي يظهر أنها تبدي سلوكاً عشوائياً، والمنظومة التي تبدي سلوكاً عشوائياً تسمى منظومة لاختية Non-Linéaire. وهي منظومة مفتوحة تدخل إليها المواد والطاقة وتخرج منها. وتلك النظم التي تتجه

حركتها صوب العشوائية في صورة فوضى، حتى تبدو القوانين كلها وكأنها عجزت عن تفسيرها. ويتمثل أحد أسباب ذلك العجز في كون المعادلات التي تصف هذا السلوك هي المعادلات التفاضلية اللاخطية، التي لا تجد حلا لها إلا استثنائياً، حيث إن «المعادلات التفاضلية تُعامل التغير في الزمن كمتصل، وليس كمتغيرات مجزأة. ومن المعروف أن هذه المعادلات صعبة الحل» (كلايك، ج، 2000، 64)، أي أن تمييز المنظومة الدينامية بأنها خطية أو غير خطية يعتمد على طبيعة معادلات الحركة التي تصفها، فتكون المنظومة خطية Linéaire إذا كانت المعادلة التي تصفها تفاضلية ولا تحتوي أي من المتغيرات، وبالتالي يمكن تحليلها بشكل مباشر إلى منظوماتها الجزئية وإعادة تركيبها من منظوماتها الجزئية. على سبيل المثال، يمكن تحليل الاهتزازات الخطية للوتر باعتبارها تركيب من الأشكال الاهتزازية البسيطة، والتي يمكن التعامل معها باعتبارها أشكال فردية لأنظمة جزئية أو أجزاء من الاهتزازات الأصلية غير مرتبطة ببعضها البعض. وهذا هو مبدأ التركيب الخطي. يماثل تحليل المنظومة، إذن، تجميع الأجزاء، فالكل هو مجموع الأجزاء، والسلوك الخطي للمنظومة في مثل هذه الحالات يسمى أحيانا المحصلة (Bishop, Causation, 2008, 229)، وبشكل عام تكون المنظومة خطية لما تكون نهاياتها غير مختلفة عن بداياتها أو عن حالات الأولى، ولذلك فإن ما سيحصل في المستقبل البعيد موجود سلفا في الحاضر، والحاضر نفسه مشروط بالماضي بكيفية كلية.

أما في الأنظمة اللاخطية، فهي على النقيض، فكرة التجميع المباشر هذه تفشل عندما تكون سلوكيات مكونات المنظومة مترابطة ومتبادلة بشكل كبير، لا يمكن التعامل مع المنظومة، ولو بشكل تقريبي، كمجموعة من الأجزاء الفردية غير المترابطة، أي الكل يختلف عن مجموع أجزائه. بدلا من ذلك، يخفق مبدأ التركيب الخطي ويصبح مطلوبا نوع من الوصف الإجمالي أو غير المحلي، مع الأخذ بعين الاعتبار أنه لا يمكن وصف المكونات الجزئية بشكل كامل بدون الرجوع إلى بنيات المنظومة على المستوى الأعلى. بمعنى أن المكونات الجزئية مرتبطة بكل المكونات الأخرى إلى درجة أنه لا يمكن لأي مكون من المنظومة أن يتغير إلا من خلال فرض بعض التغيير على المنظومة ككل. مثل هذه السلوكيات الكلية يشار إليها عادة على أنها منبثقة (Bishop, Causation, 2008, 229).

إن كل نظام لاخطي بسيط لا يتمتع بالضرورة بخصائص ديناميكية بسيطة. وينطبق ذلك على القوانين التي تحكم التغيرات الجوية، التي يعبر عنها رياضياً بمعادلات تفاضلية غير خطية، مما يعني أن النتائج لن تكون متناسبة مع الأسباب، وبحسب حالاتها المبدئية. كما يمكن للأنظمة اللاخطية أن تؤدي إلى نتائج مختلفة بعد مرور زمن معين، مما يعني أن إمكانية التنبؤ بها محدودة جداً. حيث إن الحسابات المبنية على النتائج التنبؤية لا يعول على دقتها فيما يتعلق بالمتغيرات

المحتملة وآثارها، وأن العديد من الآثار الجانبية تظهر بشكل يخل بالثقة في الكل الحسابات إخلالا كبيرا.

وبالإضافة لما سبق ذكره، فإنه توجد في الطبيعة ظواهر كثيرة تعد مثالا للحركة الفوضوية منها: تساقط المياه وتشكل الغيوم وحركاتها وتبخر المحيطات، وانفجار البراكين وتشكل السواحل والجبال ونمو الأشجار، وتقلب المناخ والدوامات النهرية والبحرية، وتوزع الإلكترونات الحرة في المواد الصلبة وانطلاق غاز ما، وانتشار حريق أو وباء، بالإضافة إلى الظواهر الاجتماعية والاقتصادية والعلاقات البشرية الطبيعية (مواليد، وفيات، أزمت، حروب...). بصفة عامة، يمكن القول إن الظواهر اللاخطية توجد في كل المجالات العلمية، كجريان السوائل، الأرصاد الجوية، فيزياء البلازما، الفيزياء الجيولوجية، جغرافيا المحيطات، الاحتكاك والكسر في بنيات المعدن، المواد المهترئة المترابطة، التفاعلات الكيميائية، تميز الخلايا، الوظائف العصبونية...  
كل هذه الظواهر يمكن جمعها في نوعين من النظم:

- نظم بسيطة وتعمل بطرق بسيطة كأداة ميكانيكية بدائية مثل البندول أو دائرة كهربائية بسيطة مثل متذبذب جهاز للاتصالات... تخضع لقوانين بسيطة تحديدية ومضبوطة تماما، ومن ثم فإن تصرفها على المدى البعيد يكون قابلا للتنبؤ تماما.

- نظم معقدة التي تُعنى بأسباب معقدة كجهاز ميكانيكي معقد، أو دائرة لجهاز كهربائي متقدم، أو تعداد جنس من الكائنات في الأحرش، أو تدفق لتيار متدفق... أو اقتصاد لدولة، وهي نظم ما تنفك عن التغير وهي بعيدة عن الاستقرار وغير قابلة للتنبؤ أو التحكم، إما لأنها تحكم بعوامل متعددة لا رابط بينها، أو لأنها تتأثر بمؤثرات خارجية عشوائية (كلايك، ج، ص 229).

وهذه النظم المختلفة تبدو وكأنها تتصرف بطريقة مختلفة «العالم البيولوجي الذي ينكب لسنوات على دراسة الكيمياء العصبية في جسم الإنسان، ومهندس الطيران الذي يستخدم الأنفاق الهوائية لحل مشكلة في الديناميكا الهوائية، وعالم الاقتصاد الذي يحلل سيكولوجية الشراء، علماء كهؤلاء يعلمون أن العوامل التي تتحكم في مجالاتهم مختلفة، فيظنون بدهاءة أن نظمهم المعقدة لا بد وأن تختلف فيما بينها كل الاختلاف» (كلايك، ج، ص 229)، ولقد تنبّه بعض علماء الفيزياء والرياضيات والبيولوجيا إلى أن النظم البسيطة قد تؤدي إلى تصرفات معقدة، وأن القوانين المعقدة قد تنتج عن أسباب بسيطة، حيث أصبح هؤلاء على وعي بالفوضى.

تتميز الظواهر المعقدة بكونها ظواهر فوضوية، من حيث أنها تُبدي سلوكا عشوائيا. والسلوك العشوائي في أي منظومة من النظم ناتج عن عدم القدرة على تحديد الشروط المبدئية لتلك النظم، ومن ثم لا يمكن التنبؤ بتفاصيل موضع وحركة كل جزيء في أي منظومة مركبة (الخولي،

ي، 2009، 246)، وذلك إما بسبب عدم تكراره أو بسبب حساسيته للشروط المبدئية، فخاصية اللاتنبؤ هي ما يسمى بالنسق الكاوسي (الفوضوي).

وعدم القدرة على التنبؤ هنا لا تعني إلا شيئاً واحداً، هو أن هذه المنظومات لا تخضع للحتمية، أي للنظام أو التحديد، ولذلك نقول عنها إنها تبدي نوعاً من السلوك العشوائي غير الخاضع للتحديد الدقيق أو للنظام الحتمي، ومعنى ذلك أنها تفضي إلى الفوضى. والفوضى لا تعني أن هذه النظم ليس لها نظام، وإنما أن هذا النظام لم يتم الكشف عنه بعد، حيث إن الفوضى لا تتراجع أمام النظام، بل بالعكس، فالنظام نفسه يفضي في الكثير من الحالات إلى الفوضى. ومن ثمّ فنظرية الفوضى تحاول دراسة هذا النوع من السلوك لأي منظومة من المنظومات للكشف عن النظام الخفي الكامن وراء الظواهر، فيوجد وراء الفوضى البادية للظواهر نظام عميق، ومسعى العلماء هو محاولة الكشف عنه.

كما أن نظرية الفوضى تهتم بـ«دراسة الآثار المترتبة بعيدة المدى لتغير أولي يبدو بسيطاً، يتراكم بفعل العلاقات المتبادلة بين كثرة لانهائية من العوامل والمكونات في النظم المركبة» (الخولي، ي، 2009، 247)، ومعنى ذلك أنه يمكن لاضطرابات عظيمة الصغر وخارجة عن المنظومة أن تؤثر في المنظومة ككل، وهو ما يعبر عنه بتأثير الفراشة Effete papillon، وقد شاع عامل أو أثر الفراشة من محاضرة ألقاها لورنتس سنة 1972 في اجتماع للجمعية الأميركية لتطوير العلم، تحت عنوان «القدرة على التكهن: هل تثير خفقة جناح فراشة في البرازيل عاصفة في تكساس؟».

إن أي منظومة يمكن أن تنتج أشكالاً تتراوح بين البسيطة والأكثر تعقيداً، ومن المنتظمة جداً إلى تلك ذات المظهر العشوائي. إن فكرة القواعد البسيطة التي يمكن أن تؤدي إلى سلوك معقد فكرة أساسية في علم المنظومات المعقدة، وهي تمثل جزءاً كبيراً من نظرية المنظومات الديناميكية، والتي غالباً ما تعرف باسم نظرية الشواش أو علم الشواش Théorie de chaos.

لقد سعت نظرية الفوضى إلى صياغة معادلات رياضية بسيطة تشرح ظواهر كبرى، فرصدت ظواهر بيّنت أن حدوث تغيرات بسيطة في المعطيات الأولية التي تتعامل معها تلك المعادلات تفضي إلى نتائج هائلة عند الحساب النهائي، وسُمّيت نظرية الفوضى تلك الظاهرة "الاعتماد الحساس على المعطيات الأولية"، لأن المنظومة الكاوسية تتسم بكونها شديدة الحساسية لأي تغير في الشروط الابتدائية، إلى درجة أنه لا يمكن الربط بواسطة المعادلات الرياضية بين المدخلات والنتائج (المخرجات). ولكنها بدلا من ذلك تتسم بطبيعة خاصة من حيث إعادة تشكيل نفسها بطرق مختلفة كما هو الأمر - على سبيل المثال - في حال الطقس.

## الفوضى والنظام في الكون:

عندما نتحدث عن حفظ أو بقاء الطاقة، فإن التصور الكلاسيكي قائم على قانون عدم قابلية الظواهر الحرارية للارتداد، حيث تنتقل الحرارة في اتجاه واحد من الجسم الساخن إلى الجسم البارد ولا ترتد في الاتجاه المعاكس. وقد أثبت العالم بولتسمان أن أسلوب الفيزياء الكلاسيكية في التحديد الفردي اليقيني لا يجدي نفعا هنا؛ ذلك لأن كمية الحرارة في جسم ما تتحدد بسرعات جزيئاته التي تتباين بشكل كبير، وكل جزيء على حده له سرعة خاصة به، ولا يمكن حساب عدم القابلية للارتداد إلا بصورة احتمالية عن طريق حساب متوسط سرعة الجزيء، وكلما زاد هذا المتوسط ارتفعت الحرارة (الخولي، ي، 2009، 122)، فهذه الاحتمالية تعصف بالتصور الحتمي وإقحام الإحصاء والاحتمالات في صلب الفيزياء. إن العلم المعاصر يشمل قوانين أساسية هي في جوهرها احتمالية «لأن القانون الإحصائي أو الاحتمالي إنما يقرر انه إذا كانت لمقادير معينة قيم معينة، لكان ثمة توزيع احتمالي لقيم مقادير أخرى، وإذا كانت بعض القوانين الأساسية للعلم احتمالية هكذا، فلا يمكن لأطروحة الحتمية أن تقوم لها قائمة» (رودولف كارناب، ر، دت، 248).

ففي حالة إمكانية الانتقال التلقائي للحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، وعدم إمكانية سير العملية عكسيا يمكن أن تُفسر على النحو التالي: إذا وجدت في أحد أقسام جملة مؤلفة من جسمين درجة حرارتهما مختلفة، جزيئات تتمتع بطاقة حركية أكبر منها عند جزيئات القسم الآخر، فإنه يجب بنتيجة التصادمات العشوائية التي تحدث بين الجزيئات، أن يتحقق توزيع متساوٍ للطاقة الحركية المتوسطة لحركة هذه الجزيئات في جميع عناصر الحجم، الأمر الذي يتحتم معه تساوي درجة الحرارة. ولو جرت العملية العكسية لكان من المفروض أن تتجمع الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأكبر أي الجزيئات الأسخن، في قسم واحد من حجم الجملة. وأن تتجمع الجزيئات الأبرد في القسم الآخر (كرييف، ف، دت، 273)، غير أن هذه العملية غير ممكنة، بل إنها تكاد تكون مستحيلة. فإذا كانت أنتروبي نظام ما معزول أو مغلق أكبر ما يمكن، فإن أي تغيير في حالته يعني تناقصاً في الأنتروبي وهذا غير ممكن، أي أنه لا يمكن أن يحدث أي تغيير في حالة النظام.

لكن المشكلة لا تتوقف عند حدود شكل انتقال الحرارة، وإنما تنسحب على حركة الكون جميعاً، حيث جنح بعض الفيزيائيين إلى إمكان تطبيق الأنتروبي أي القانون الثاني للثرموديناميك على الكون كله باعتباره نظاماً ثرموديناميكياً متناهما مغلقاً يسعى إلى حالة توازن. حيث إن حالة الكون لا تبقى على حالها وإنما تتغير أكثر فأكثر في اتجاه تبديد الطاقة الميكانيكية. وهذا التطبيق إنما يعني بكل بساطة افتراض قدر من فوضى أو اضطراب يقتحم النظام الفيزيائي. إن الكون يتحرك من حالة منظمة ولكنها أقل احتمالاً، إلى حالة استقرار لا انتظام فيها ولكنها أكثر احتمالاً

(مطلب، م، 1985، 37)، والأنثروبي التي تعد مقياسا للفوضى، تزداد بصورة مطردة في النظم المغلقة؛ فالكون في بداياته كان منظما، ثم بدأت الفوضى بالزيادة فيه تدريجيا، وفي النهاية عندما تتساوى الحرارة بين كل أجزاء الكون تتوقف جميع التفاعلات، وهو ما يعرف بنظرية الموت الحراري للكون التي تمت صياغتها لأول مرة سنة 1852م، بحيث «تتحول كل أنواع الطاقة إلى طاقة حرارية، وتختفي الفروق في درجات الحرارة. وينتج من هذا أن المادة تتحول إلى دقائق ليس بإمكانها أن تتفاعل فيما بينها» (مطلب، م، 1985، 37)، أي أن الموت الحراري للكون هو النقطة التي تتبدد فيها الطاقة في الكون. ووفقاً للقانون الديناميكا الحراري الثاني يتعذر على الطاقة أن تجري من مصدر إلى آخر.

ويمكن القول بمعنى آخر أن الأنثروبية الكونية ستصل يوما ما إلى الحد الأقصى وستتعاود الطاقة بعدها، وستظل الطاقة موجودة لكنها لا تستطيع أن تحدث أي تغيير أو حركة أو شغل، أي لا حياة، بحيث سيظل الكون موجودا ولكن وكأنه متجمدا. وحيث إن الحرارة هي أدنى درجة من التنظيم فإن التبادل يكون من طاقة غير حرارية إلى حرارية، وهو ما يمثل زيادة في الأنثروبيا. وبفقد الأنثروبيا العظمى فإن كل شكل للطاقة يمكن تحويله إلى حرارة، وبالتالي فإن كل أجزاء الكون ستوازن حراريا، مما يعني موت الكون حراريا، وهذه النهاية المحتمومة لا يمكن تجنبها.

ولابد من الإشارة أن النظم المفتوحة التي تتسلم طاقة من الخارج، وتسربها إليه، هي نظم غير مستقرة ويصعب تدقيقها. بحيث إن الأشياء تتصرف من حولنا كأنظمة مفتوحة، أي في حالة تبادل مستمر للطاقة والمادة، والاهم من ذلك أنها تتبادل الأنباء والمعلومات مع محيطها، فهذه الأنظمة في حالة حركة وتغير عبر الزمن، لذلك فمن الأفضل اعتبارها كمتوجة (فياض، م، 1995، 128). فهذه الطبيعة المتوجة لهذه النظم تؤدي إلى اضطراب في النظام المتواجد فيها، وبالتالي نكون أمام حالتين: «إما أن يدمر النظام من جراء اتساع التموجات. وإما أن يتم التوصل إلى نظام داخلي جديد، متميز بمستوى أعلى من التنظيم» (فياض، م، 1995، 128)، أي أنه في جميع الظروف فإن القوانين التي تطبق هنا هي قوانين الإحصاء والاحتمال لا التحديد المطلق.

ما يمكن أن نستنتجه، أن النظم الثرموديناميكية لاسيما الأنثروبية منها لا تخضع للشروط التحديدية أي للحتمية التي أقرتها الفيزياء الكلاسيكية، حيث نجد القانون الثاني منها يتمتع بطابع إحصائي من حيث هو ينطبق فقط على الجمل المؤلف من عدد كبير جدا من الجسيمات؛ وذلك لأن قوانين الإحصاء لا تطبق تطبيقا دقيقا إلا على هذه الجمل (فياض، م، 1995، 271)، فعند دراسة الجملة المؤلف من عدد غير كبير من الجسيمات، فإن نتائج القانون الثاني لا تنطبق عليها بصورة دقيقة، أي أن هذا القانون لا يسري على الجمل المؤلف من عدد قليل من الجسيمات. هذا، ولا نستطيع دراسة الجمل المؤلف من عدد كبير من الجسيمات بقوانين الميكانيك

الكلاسيكي، لكن فقط بنظرية الاحتمال يمكن تعيين الاحتمال الأكبر أو الأصغر للحالة المعينة للجملة، حيث إن انحرافات هذه الجمل عن هذه القوانين ضعيفة جدا تكاد تكون مستحيلة (مطلب، م، 1985، 272)، فالقانون الثاني في الترموديناميك يضع المعيار الذي يقاس به الاحتمال الأكبر أو الأصغر لحالات الجمل.

بشكل عام، أن كل العمليات في الحياة تقوم على تحويل الطاقة، والطاقة المنتجة تكون على الدوام أقل مما يستخدم في إنتاجها. وان هناك طاقة مشتتة في أرجاء الكون، ومن دراسة فقدُ الطاقة أدخل مفهوم الأنتروبيا كتعبير عن الحصلة الكونية في الطاقة المبددة، والتي تضمنها القانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي ينص على أن كافة العمليات الحرارية تتضمن زيادة الأنتروبيا.

ولما كانت الطاقة المبددة غير قابلة للاسترجاع، جاءت الأنتروبيا تعبيراً عن الخاصية اللانعكاسية للعمليات الحرارية. ولما كان للكون طاقة مبددة وتكون مشتتة، فإن الأنتروبيا هي أيضاً مقياس للعشوائية، والتي قام بولتسمان بتكميمها رياضياً، وهي الصياغة التي تعتمد على أن احتمال العشوائية أي الفوضى هو دائماً أكبر من احتمال النظام.

وهكذا فإن تجاوز التصور الحتمي أنتج فهماً جديداً للظواهر من حيث أن حدوثها لم يعد ضرورياً، مما يعني أن «العالم الاحتمالي يستوعب الأنساق الكاوسية ويظل منتظماً ومعقولاً، تخضع وقائعه للقوانين العلمية، لكن في إطار تعاقب الأحداث الاحتمالي وليس الحتمي، فحلّ الترابط الإحصائي محل الترابط العليّ الضروري» (الخولي، ي، 2009، 247)، وهذا معناه أن الحتمية لم تعد مطلقة وليست كونية شاملة، لأن جميع الأنظمة الفيزيائية الماكروسكوبية ليست بالضرورة حتمية مثل الظواهر الكاوسية، حيث توجد صلة بين الحتمية والمصادفة.

### خاتمة:

إن الفوضى ليست من الصفات الجوهرية لنظم الطبيعة، وإنما هي ناشئة عن العجز على قياس حالتها الأولية بدقة كافية. حيث إن الفوضى - بعكس ما يوحي به اسمها - كشفت عن الكثير من النظم والدقة الكامنتين وراء الظواهر التي تبدو لأول وهلة أنها عشوائية وغير منظمة ولا تخضع لأي قانون.

وبالتالي، أصبحت الفوضى مفتاحاً جديداً للمعرفة، فهي ليست حالة شاذة أو غير جديرة بالحسبان، بل تفرض حضورها وتؤكد على وجودها من خلال سلوك غير منتظم لأنظمة غير مستقرة... والقول بوجود الفوضى كمقابل للنظام، يعني أن العلم لم يستطع استيعاب الحقيقة كلها، وأن الحقيقة أوسع من أي منهج أو نظرية. والمعرفة الحقيقية هي التي تستطيع سبر الحقيقة

في الفوضى والنظام معاً. فنحن لا نستطيع تعريف النظام أو الفوضى إلا من خلال إضافة أحدهما إلى الآخر.

### المصادر والمراجع:

1. بوش، فريدريك، و جيرد، دافيد. (دت). أساسيات الفيزياء، تر: سعيد الجزيري ومحمد أمين سليمان، ط1، القاهرة، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية.
2. الخولي، يمنى طريف. (2009). فلسفة العلم في القرن العشرين، ط1، القاهرة، الهيئة المصرية العامة للكتاب.
3. ف. كرييف، ف. (دت). الكيمياء الفيزيائية، تر عيسى مسوح، دط، موسكو، دار مير للطباعة والنشر.
4. فياض، منى. (1995). العلم في نقد العلم: دراسات في فلسفة العلوم، ط1، بيروت، دار المنتخب العربي للدراسات والنشر والتوزيع.
5. كارناب، رودلف. (دت). الأسس الفلسفية للفيزياء، تر السيد نفاذي، دط، دار الثقافة الجديدة، القاهرة.
6. كلايك، جيمس. (2000). الهيولوية تصنع علما جديدا. تر: علي يوسف علي، دط، القاهرة، المجلس الأعلى للثقافة.
7. مطلب، محمد عبد اللطيف. (1985). الفلسفة والفيزياء ج2، بغداد، دائرة الشؤون الثقافية والنشر.
8. Robert, Bishop & Downward. (2008). Causation in Fluid Conviction in Sythese, V160.