

ديناميكية النظام واللائظام في الفيزياء المعاصرة

د. صباح قلامين

أستاذة محاضرة (أ) كلية العلوم الاجتماعية

جامعة خميس مليانة، الجزائر

الملخص :

لقد عرف العلم الحديث ثورة فيزيائية ثالثة بعد فيزياء "نيوتن وأينشتاين" تبدأ من الحدود التي يتوقف عندها العلم التقليدي، إذ أصبح لا معنى للحديث عن العلاقات والارتباطات الخطية كمنتج معرفي. وفي المقابل بدأ التحلي عن النظرة إلى العالم باعتباره دمية ميكانيكية تافهة تخضع لسيادة النظام المتعلق بقوانين الطبيعة، والتي تفترض أن الصدفة وعدم النظام مجرد خدع، سوف تتبدد مع مزيد من الفهم، وتم قبول المبدأ الثاني للديناميكا الحرارية، (الانتروبيا) والمتمثل في زيادة الفوضى وعدم النظام، والإثارة والتصادم والتشتت، حيث يتبع ذلك ظهور عدم الانتظام في الكون، وينظر إلى الفوضى بالدرجة الأولى باعتبارها مشكلة تعذر اختزال عدم الانتظام. ومنه بدأ العقل والعلم يأخذان مسارا جديدا إلى عدم النظام من خلال فلسفة الفوضى واشكالياتها.

الكلمات المفتاحية: النظام، اللائظام، نظرية الفوضى، الفيزياء، الخطية، اللاخطية،

العلم الحديث، الحتمية، المطلق.

Abstract:

La conception classique de la science n'avait retenu de la nature et par extension, de la société que les notions d'équilibre, d'ordre et d'harmonie. L'irrégularité, la discontinuité et le désordre dans les phénomènes physiques étaient des manifestations que le paradigme de la science "moderne" négligeait ou même refusait d'étudier. Mais Depuis, le milieu des années 60, la théorie du chaos fait le point sur les recherches scientifiques les plus récentes qui tentent de comprendre le comportement du désordre dans la nature.

Contrairement à la vision newtonienne de la nature et de l'univers dans laquelle dominant l'absolu et le déterminisme linéaire, cette nouvelle grille de lecture du monde réel soutient que les phénomènes de la nature sont constamment travaillés par des processus chaotiques. Le chaos serait un comportement normal de la nature. Il est stable, régulier et se reproduit de lui-même. Ainsi, la stabilité de l'irrégularité devient elle-même une régularité à codifier. Le caractère désordonné d'un système chaotique se maintient même si on lui injecte des perturbations susceptibles de le rendre ordonné.

Mots clés : ordre, désordre, théorie du chaos, physique, linéaire, non- linéaire, science moderne.

المقدمة

لقد كانت القوانين الفيزيائية خلال أربعة قرون مضت، قد عكست الصلة التامة بين السبب والأثر الناتج عنه في الطبيعة، وهكذا إلى فترة قريبة، كان هناك افتراض بأن من الممكن دائما التنبؤ بشكل دقيق بعيد المدى عن أي نظام فيزيائي طالما أننا نعرف شروطه الابتدائية بشكل جيد.

ففي البداية طغت فلسفة الحتمية، التي مثلت الاعتقاد الأساسي في العلوم الفيزيائية، الذي يقضي بأن كل سبب له أثر فريد، والعكس صحيح، ثم اهتم علماء الفيزياء بالشروط الابتدائية، بحيث تُستخدم للتنبؤ بحالات النظام في أوقات متقدمة أو متأخرة، ثم فيما بعد عرفت الفيزياء مرحلة الارتيازية واللاحتمية في القياسات، بحيث لا يمكن إجراء أي عملية قياس بدقة لانهائية وهكذا تصل الفيزياء في القرن 20 إلى أن اللاحتمية، والشروط الابتدائية، والارتيازية في القياس، هي السبب في حدوث "عدم الاستقرار الديناميكي"، والذي هو لأكثر الفيزيائيين تعبيراً مرادف "لفوضى"، "فالفوضى" كلمة ذات معنى مخصص في الفيزياء، وهي ليست ما نعينه بالفوضى في حياتنا العامة. إن مصطلح "حركة فوضوية" بالنسبة للفيزيائي، لا يتعلق فيما إذا كانت حركة النظام الفيزيائي تظهر شديدة الاهتياج، بل في الواقع إن النظام الفوضوي قادر على أن يتطور

بطريقة مرنة ومنتظم ، فالفوضى تُعزى إلى قضايا تتعلق بما إذا كان بالإمكان التنبؤ بشكل دقيق بعيد المدى عن سلوك النظام

نلاحظ إذن، أن الهدف الأساسي للعلم كان حتى فترة قريبة اكتشاف نظام الطبيعة، غير أن العلماء يكتشفون الآن اللانظام "الفوضى" في الطبيعة، بحيث بدأت ترسخ فكرة إعداد "علم الفوضى". هذا ما يدفعنا الى طرح الاشكال التالي:

هل تغيرت نظرة العلوم الفيزيائية من النظرة التقليدية الحتمية المطلقة القائمة على فكرة النظام والاتساق الكوني إلى نظرة جديدة تعتمد اللانظام والفوضى كشرط جديد للمعرفة؟ وهل يمكننا إعطاء اللانظام أي معنى دون اللجوء لمفهوم النظام؟

1- الاضطراب في الفيزياء:

يرجع التفكير علميا بالاضطراب إلى زمن بعيد، حيث فكر فيه معظم علماء الفيزياء، بطريقة معلنه أو مضمرة، حيث لاحظ الفيزيائيون بعض الظواهر في الطبيعة كتفرع الفيض السلس إلى دوامات وتيارات، كما تمز الأنماط المتوحشة الحدود بين حالتي السيولة والصلابة، وتستنفذ الطاقة بسرعة من الحركات الكبيرة إلى الصغيرة⁽¹⁾، فبدت لهم هذه الظواهر غير قابلة للفهم، فما سبب ذلك ؟

لقد كانت الفيزياء النظرية ترى أن السوائل تسير بطرق منتظمة يمكن فهمها، وقد استنبط المهندسون طرقا عملية لاحتساب سريان تلك السوائل، استقوا معظمها من فيزياء القرن 19 التي اهتمت بشأني السوائل والغازات بصورة كبيرة، واعتبرت تلك الظواهر منتظمة قد رست قبل وصولها إلى خط الاضطراب. ومع القرن 20 تغير هذا المشهد قليلا، ففي الفيزياء النظرية احتفظت ديناميكا السوائل بسر ما، لكن ليس من العملي التطرق له، وساد إحساس علمي بأن الجوانب العملية من تلك الحركة مفهومة تماما، وبهذا لم تعد فيزياء السوائل تؤرق الفيزيائيين واختزلت إلى شؤون تقنية تهم المهندسين

والتقنيين، ولذا ألحقت فيزياء السوائل بكلليات الهندسة و تقلص التفكير في الاضطراب إلى الاهتمام بإزالته .⁽²⁾

في بعض التطبيقات قبل الاضطراب لأسباب عملية محضة، ففي محركات الطائرات مثلا، تعتمد كفاية احتراق الوقود على سرعة المزج التي يفرزها الاضطراب، وكثيرا ما تساوى الاضطراب بالكارثة. فمثلا يؤدي اضطراب انزلاق الرياح على جناحي الطائرة إلى تبدد قدرتها على رفع هيكلها، ويعوق الاضطراب في أنابيب البترول سهولة الضخ فيها... الخ⁽³⁾ فنجد أن الشركات الكبرى والحكومات تنفق أموالا هائلة للبحوث عن الطائرات والغواصات والدفاعات والمروحيات وغيرها مما يتحرك في وسط سيال مع ملاحظة التشابه بنويوا بين الماء و الهواء و الموجات المتولدة عن الانفجاريات الذرية . ويهتم الاختصاصيون كثيرا بتدفق الدم في الشرايين وعبر صمامات القلب وينشغلون بالانفجارات وتشكيلاتها، وأيضا بالدوامات والتيارات البحرية وموجات الصدم. ومن الناحية النظرية مثلت القنبلة الذرية مشكلة بالنسبة للفيزياء النووية في الحرب العالمية الثانية، ذلك أن الفريق الذي تولى شأنها في مختبر "لوس ألبوس" شغل بمسائل متصلة بديناميكا السوائل⁽⁴⁾.

إذن ما هو الاضطراب ؟ أنه " خريطة " من اللانظام تمتد عبر المقاييس كلها، من الدوامات البحرية الصغيرة إلى التيارات الجارفة، أنه ما لا يستقر وهو قابل للتبدد بمعنى أنه يستنفذ الطاقة ويولد دفعا ، انه حركة اتجهت صوب العشوائية.⁽⁵⁾

لكن كيف ينتج ذلك الاضطراب من السريان الهادئ ؟

لنتصور تيارا يتدفق من صنوبر فائق النعومة، ويأتي مأؤه من مصدر ثابت بعيد من الاهتزاز ، كيف بإمكان شيء بهذا القدر من الانتظام أن يولد اضطرابا عشوائيا ؟ في صورة الاضطراب تبدو القوانين كلها وكأنها تبددت، وعقب ظهوره فإنه يتعاضم على نحو كارثي و لذا صار الانتقال من الانتظام إلى الاضطراب سرا معضلا بالنسبة للعلم، كيف يتحول تيار هادئ تحت صخرة دوامة بحرية، تنمو وتنقسم وتخلق تيارا

يجر السطح إلى الأسفل؟ يتصاعد دخان السيجارة من المنفضة، فتتزايد سرعته إلى حد معين ثم ينقسم إلى دوامات صغيرة، من المستطاع مخبريا مراقبة لحظة ظهور الاضطراب، لكن طبيعته تظل مراوغة،⁽⁶⁾ وتقليديا تراكمت بعض المعارف عن الاضطراب لكنها مثلت حالات خاصة وليست معرفة شاملة.

ففي ثلاثينات القرن العشرين صاغ العالم "أندريه كولموغوروف" Andrei Kolmogorov (1903-1987) تصورا رياضيا أوليا عن الدوامات، واستطاع تتبع مسارات الطاقة عبر مقاييس مختلفة وصولا إلى الحد الذي تصبح فيه الدوامات فائقة الصغر بحيث تتغلب عليها قوة اللزوجة⁽⁷⁾، ويشبه ذلك إلى حد ما مسألة وصف لحظة اندلاع الاضطراب، فكيف يعبر سائل ما الحدود بين الجريان السلس والاضطراب؟ وما هي المراحل التي يمر بها قبل اكتمال الاضطراب؟

للإجابة عن تلك الأسئلة ظهرت نظرية أكثر قوة وصيغ منهجها على يد عالم الفيزياء الروسي ليف لاندو Lev Landau (1908-1968) الذي مازال كتابه عن ديناميكا السوائل مرجعا معتمدا عالميا، ارتكز على مقولة أنه كلما زادت كمية الطاقة التي تدخل إلى نظام التدويم ظهرت ترددات جديدة ينطلق كل منها في لحظة مختلفة عن الثانية، ويصبح غير متناغم مع ما سبقه، ويشبه الأمر كمنجة يعزف عليها بأكثر من قوس، وكل يضرب بقوة مغايرة للآخر، وكل يبدأ في لحظة مغايرة للآخر، مما يولد أنغاما مشوشة ومضطربة⁽⁸⁾.

وفي المقابل لم يملك الفيزيائيون أدنى فكرة عن كيفية توقع مستوى الطاقة الذي تحدث عنده "طفرة" بحيث يظهر تردد جديد، وجعلوا أيضا طرق توقع الترددات المستجدة، ولم ير أحد تلك الترددات مخبريا، لأن أحدا لم يختبر نظرية "ليف لاندو" عن الاضطراب⁽⁹⁾. وبعد عقود من الحرب العالمية الثانية وإذ غدت الفيزياء دراسة معمقة عن الجسيمات الأساسية، صارت الاختبارات المتقدمة في تلك الجسيمات هي تلك التي تجرى في المسرعات الذرية، وبذا دخلت لغة العلم مصطلحات تصف سلوك تلك الجسيمات

مثل التدويم والتماثل واللون والنكهة، وعنت الفيزياء درس الجسيمات الذرية وبهذا تغيرت مختبرات الفيزياء كلياً وازدهمت المختبرات بالأيدي المتخصصة، وصار عمل الفريق ضرورة علمية⁽¹⁰⁾.

وفي المقابل مال عالم الفيزياء التجريبية "هاري سويني" للتسليم بانتقادات رفاقه من اختصاص الفيزياء النظرية لكنه أوضح دوماً أن التجارب لا تصل إلى كمالها إلا إذا حصلت على معلومات خالية من التشوش⁽¹¹⁾. وأجرى "غونتر اهلرز" Guenter Ahlres (1934-) من مختبرات "آي تي أند تي بيل" في نيوجرسي، تجارب على ما يسمى انتقال الهليوم السائل إلى الحال الفائق السيولة، ولاحظ أن مع هبوط الحرارة يتحول الهليوم إلى سائل شبه سحري، إذ تنعدم فيه ظاهرياً اللزوجة والاحتكاك.

وفي السبعينات شرعت كوكبة من علماء الولايات المتحدة وفرنسا وإيطاليا في دراسة مسائل جديدة، وضمت قائمتها أسماء مثل "سويني" و"اهلرز" و"بيار بيرجيه" Pierre Bergé (توفي 1997) و"جيري غولوب" Jerry Gollub و"مازرو غيغليو" Mazzaro Giulio فعرف هؤلاء النقاط التي تتحول عندها أحوال المادة بصورة جذرية، فدرسوا الحدود القصوى التي تقف عندها المادة أثناء انتقالها من حال لآخر⁽¹²⁾. وبحلول سبعينات القرن 20 حل الكثير من المسائل في هذا الحقل، وظهر سؤال عن المدى الذي تستطيع هذه الفيزياء أن تبلغه، وعن التبدلات التي يمكن رصدها فتبين لاحقاً أنها تمثل حالة انتقالية⁽¹³⁾.

ويتمثل أحد أسباب استعصاء الاضطراب على الفهم علمياً، كون التفسير الآلي بحتميته بدأ يتهاوى أمام تفسيرات أخرى تأخذ بمبدأ الاحتمال والنظريات الإحصائية والمعادلات الرياضية اللاخطية وهذه المعادلات لا نجد لها حلاً إلا استثنائياً⁽¹⁴⁾. كما أن القوانين الإحصائية تعني أننا لا نعرف إلا بشكل منقوص الجمل الفيزيائية التي نتناولها⁽¹⁵⁾.

وعلى الرغم من ذلك فقد توصل العالم "ديفيد ريبال" David Ruelle (1935-) إلى صوغ بديل تجريبي عن معادلات ليف لاندو، فكتب ورقة علمية بالمشاركة مع عالم الرياضيات "فلوريس تاكنز" Takens Floris (1940-2010) عام 1971 بعنوان "عن طبيعة الاضطراب" سجلت فتحا علميا بما احتوته من رؤية وتجديد في صورة الفيزياء⁽¹⁶⁾.

ولعل الأشد إغواء فيها تلك الصورة التي وضعها المؤلفان باسم "الجاذب الغريب" والتي تحتل مكانة مرموقة في علم الفوضى، حيث اندمج هذا المفهوم مع "فضاء الحال"، ويشكل الأخير أحد أقوى ابتكارات علم الرياضيات الحديث، لأنه يعطي طريقة لتحويل الأرقام إلى صور، مستفيدا من دقائق المعلومات عن تفاصيل النظام المؤلف من مكونات متحركة سواء أميكانيكية كانت أو سيالة، ويصنع خريطة طريق متحركة لاحتمالاتها كلها⁽¹⁷⁾.

2- الجاذب الغريب:

لقد أعطى "لورنز" رسما للجاذب الغريب، وقد بدا الشكل النهائي له واضحا، فهو شكل يشبه جناحي فراشة مكون من مجموعات من الخطوط الأنشطة الشكل التي يعبر كل منها من جناح إلى آخر⁽¹⁸⁾. ويتميز جاذب لورنز بأنه مستقر وغير دوري وقليل الأبعاد، وكذلك لا يتقاطع مع نفسه، أي أنه لا يكرر أيا من حركاته، وبذلك فإن الخطوط اللولبية والانشطوية التي تكونه لا تتصل فعليا، ومع ذلك فإنها تبقى ضمن حيز محدود كأنها في علبة⁽¹⁹⁾.

وبعد ذلك توالت الأبحاث حول الجاذب الغريب وكيف يمكن رؤيته أصلا، فمن الناحية النظرية يستطيع الجاذب الغريب أن يعطي مادة رياضية عن الصفات الأساسية لنظرية الفوضى، تتمثل إحداها في الاعتماد الحساس على المعطيات الأولية⁽²⁰⁾. فقد حاول العلماء قياس تلك الصفات وكمياتها وكذا تطبيق ذلك القياس في سياق المسائل الهندسية، وحاولوا أن يقيسوا ما الذي يحصل فعليا عند اندلاع الاضطراب،

فظهر الجاذب الغريب وكأنه استعصاء مستحيل، دل إلى مكان فشلت مخيلات كثيرة في القرن 20 في الوصول إليه، وسرعان ما مهر العلماء في استخدام الكمبيوتر وأخذت صورة الجاذب الغريب في التشكل، لقد باتت الطبيعة مضغوطة، وجدت قنوات لعبور اللانظام إلى أنساق تشارك في ترسيمات معينة⁽²¹⁾. ولاحقاً حفز الاعتراف علمياً بوجود الجاذب الغريب إلى تحفيز ثورة الكايوس بإعطائها العلماء برنامجاً واضحاً للعمل عليه بصورة حسائية، وشرع الجميع في البحث عن الجاذب الغريب في كل مكان بدا أن الطبيعة تتصرف فيه بعشوائية .

3- فيزياء الفوضى:

ترتكز فيزياء الفوضى بشكل أساسي على الدراسات والتحليلات الإحصائية التي تطبق على ظواهر تشمل عدداً كبيراً من العناصر التي لا نعرف سلوكها معرفة جيدة⁽²²⁾، إنما تشابه رغم ذلك مع غيرها، وكلما كان عدد العناصر أكبر كانت النتائج الوسطية أفضل.

وقد أسس هذه الفيزياء لودفيغ بولتزمان Ludwig Boltzmann (1844-1906)، وتسعى الميكانيكا الإحصائية لفهم خصائص المادة على المستوى الماكروسكوبي انطلاقاً من وصف ميكروسكوبي⁽²³⁾. وصعوبة دراسة العالم الميكروسكوبي تتأتى من أعداد عناصره الهائلة، فلدراسة 1 سم³ من الماء، علينا أن ندرس عدد أفوكادور من جزيئات H₂O التي يحويها، أي 10²³ جزيء تقريباً. فكيف يمكن دراسة تأثير كل جزيء على المستوى الماكروسكوبي؟، إن ذلك ممكن فقط كون هذا التأثير مهماً؛ وإلا لما أمكننا حل هذه المسألة لأن أي كمبيوتر لا يستطيع دراسة عدد مماثل من العناصر دفعة واحدة.

إن المثال الكلاسيكي في دراسة الفيزياء الإحصائية هو مثال الجسيم المتحرك بشكل عشوائي انطلاقاً من نقطة ثابتة، وإذا اعتبرنا أن سرعته وخطواته متساوية، إنما اتجاهات سيره عشوائية، سنكون أمام احتمالات هائلة⁽²⁴⁾ فكيف سيكون إذا غيرنا سرعته أو خطواته أو أبعاد الفراغ الذي يتحرك فيه، أو إذا تعددت العناصر المتحركة؟

لنحاول الآن تحديد الإطار الذي يعطيه الفيزيائيون لمفهوم الفوضى، ولنأخذ غازاً في حالة التوازن ضمن حجرة مغلقة، تشبه الجزيئات فيه بتدافعاتها الحركة الفوضوية التي يمكن لمجموعة كبيرة من الكرات الصغيرة تشكيلها وهي تنقذف عشوائياً في مكان محدد، نلاحظ أن جزيئات الغازات تتحرك حركة عشوائية في اتجاهات غير محددة، ككل جزيء منفصل، ولكنها ككل داخل حيز مغلق تتصرف حسب قانون منتظم وهو قانون الغازات. (25)

إن الغاز الموجود في إناء مقفل -بالونه مثلاً- يقوم بالضغط على جدران الإناء بدرجة واحدة في كافة جوانبه، فيقع على سطح الإناء الضغط نفسه الواقع على الأرضية (قاعدة الإناء)، في حين أن السائل والجامد يمارسان ضغطيهما على الأرضية فقط، لأن ضغط الماء مثلاً يعزى إلى ثقله، أما ضغط الغاز فيعزى إلى أن الغاز يتألف من مجموعة كبيرة للغاية من الجزيئات التي أمكن اعتبارها كرات صغيرة متساوية، تتحرك حركة دائبة لا تنقطع، ويتصادم بعضها مع بعض، كما يتصادم مع الجوانب المحيطة بها، وعدداً كبيراً للغاية من المرات في كل ثانية. (26)

لذلك فدراسة الضغط الذي يبذله الغاز على جدران الإناء لا يتأتى بمعرفة مواضع جزيئات الغاز وسرعاتها معرفة تفصيلية دقيقة، كما علمتنا الفيزياء الكلاسيكية، فمن المستحيل دراسة أي جزيء من جزيئات الغاز دون الدخول في معادلات يعجز العقل الإنساني عن تحديدها، بل هو عدد لا حصر له من المعادلات التي ينبغي صيغتها لتحديد حركة كل جزيء على حدة لما تمارسه من مصادمات وتغاير في اتجاه لا ينقطع. (27)

أما لو حسبنا الطاقة الكلية الناجمة عن اصطدامات جزيئات الغاز البالغة التعداد، والتي تتحرك في سرعات هائلة غير منتظمة، وفي جميع الاتجاهات لوجدنا أن الضغط على جدران الإناء يتناسب تناسباً قريباً جداً مع كثافة الغاز ومع مربع سرعة المتوسط الإحصائي لطاقة وحركة الجزيئات في وحدة حجمية معينة، وهكذا نجد أن النظرية الحركية للغازات تبرز مفهوم العشوائية، مما يحتم اللجوء إلى الاحتمالات وقوانين الإحصاء (28)

وقد توصل بولتزمان إلى علاقة تربط هذه الاحتمالية بالانتروبيا. (29)

وهكذا يبدو المفهوم الإحصائي رديفاً لا ينفصل عن تعبير الفوضى، سواء كانت الاحتمالية فيزيائية أم ناجمة عن تقصير إدراكنا، غير أن صفة الاحتمالية غالباً ما تعكس نقص معلوماتنا، والحق أن إحدى طرق قياس الفوضى المقرونة بظاهرة فيزيائية يكمن في قياس نقص المعلومات المتعلق بها، وهذا يعطينا أول تمييز دقيق بين مفاهيم الفوضى والاحتمال ونقص المعلومات.⁽³⁰⁾

لقد سمحت الأبحاث الحديثة حول "الأنظمة الدينامية" و"الفوضى" بإلقاء ضوء جديد على الفوضى ونقص المعلومات؛ كما وسمحت بربط مفهومين كانا يبدوان متناقضين: تحديد القوانين التي تحكم نظاماً فيزيائياً ونقص المعلومات المتعلقة بهذا النظام⁽³¹⁾، إن تعبير الأنظمة الدينامية يشير إلى كل صيرورة متطورة زمنياً يتعلق فيها المستقبل بشكل محدد بالماضي، كالنظام الشمسي مثلاً. ففي هذا النظام تتحدد الحركة بمعرفة السرعات والمواقع الابتدائية للكواكب، وتسمى هذه الإحداثيات بدرجات الحرية، ويساوي عددها عدد الكواكب مضروباً بستة، حيث لكل كوكب ثلاث مركبات سرعة وثلاث مركبات موقع.

وتستهدف الأبحاث حول الأنظمة الدينامية بشكل أساسي تمييز المسارات في فراغ المرحلة، وذلك عندما نتبعها خلال زمن طويل جداً، بل ولا نهائي، وتحديد المسار ابتداءً من شرط ابتدائي هو بالتأكيد المنهج المباشر للتنبؤ بشكل تفصيلي بتطور النظام، وكان يُعتقد أن كمبيوتراً ضخماً بما يكفي يمكنه تحقيق ذلك بالدقة المطلوبة لكل مسألة من هذا الشكل، لكن فيما بعد تبدى خطأ هذا الاعتقاد.

ومن الأسئلة الهامة التي ظهرت في دراسة الأنظمة الدينامية، كيف سيسلك النظام المعتبر إذا انتظرنا فترة طويلة؟ هل سيصل إلى وضعية الجمود حيث لا يتغير شيء بعد ذلك مع مرور الزمن؟ ذلكم ما يحصل مع نواس يفقد طاقته بالاحتكاك، أم أن النظام سينتهي إلى حركة دورية، كحركة الكواكب حول الشمس مثلاً؟ يوافق ذلك في فضاء المرحلة منحني ينغلق على ذاته يُدعى "دوراً محدوداً"؛ بينما في الحالة الأولى يوافق كل توقف نقطة ثابتة.

لكن النقطة الثابتة والدور المحدود ومؤثرات جاذبة أخرى بسيطة هندسياً ليست الإمكانات الوحيدة، فثمة أنماط أخرى من الجواذب تدعى بـ"الغريبة"، وتكون مرتبطة بسلوك فوضوي لنظام ديناميكي، ولا يمكن للجواذب الغريبة أن توجد إلا في فراغ مرحلة له أكثر من بعدين، وتكون ذات بنية هندسية متشابكة وتحتل منطقة محدودة في فراغ المرحلة.⁽³²⁾

غير أن الفوضى الهندسية لمثل هذه الجواذب ليست كلية، إذ تبقى آثار النظام الرياضي المتضمن في المعادلات ماثلة فيها. ولهذه الجواذب بنية منشئية، ومنشئية على نفسها مرات أخرى، بل وملتفة على نفسها عدداً لانهائياً من المرات، كذا فإن الجواذب الغريبة هذه هي عبارة عن فراكتالات fractals، والفراكتالات هي بنية هندسية تحافظ على المظهر نفسه مهما كانت التضخمات التي تصيها⁽³³⁾، ولا بد لنا من وقفة مع هذه الفراكتالات.

4- الفراكتالات

كانت الهندسة حتى وقت قريب تُعتبر جافة، كونها لا تستطيع التعامل مباشرة مع نماذج طبيعية كالقيم أو الجبال أو الأشجار ... الخ، ومع ذلك، فثمة في عمل الطبيعة ما يُشعرنا بأنه يركز على تفاصيل دقيقة، وهذا ما قاد بنونا ماندلبروت Benoit Mandelbrot (1924-2010) عام 1975 إلى وضع هندسة جديدة تختلف اختلافاً جذرياً عن الهندسة الإقليدية، ودعاها بـهندسة الفراكتالات⁽³⁴⁾، وتسمية "fractal" مشتقة من الجذر اللاتيني franger الذي يعني "كسر" أو "شرح"، ومن الصفة fractus التي تحمل معنى اللانظام والتكسر⁽³⁵⁾، وأراد ماندلبروت جمع هذين المعنيين في كلمة "فراكتال".

إن هذا المعنى بالنسبة لماندلبروت يشتمل على الشكل والصدفة والبعد، ولم يكن أحد يتوقع ما أثارته هذه الفراكتالات في تطبيقاتها الرياضية والفيزيائية والبيولوجية، بل والفلسفية، فقد تبين أن لها أهمية فائقة في دراسة الظواهر الفوضوية بشكل خاص،

ونميز رياضياً بين حجوم هذه الفراكتالات التي تتراوح بين المتناهي في الكبر والمتناهي في الصغر.⁽³⁶⁾

فإذا لم يكن الفراكتال محدوداً فإن حجمه الأعظمي يكون لامتناهياً في الكبر، وإذا كان محدوداً بكثرة فإن حجمه الأعظمي يتحدد بقطر هذه الكرة، وإذا لم يكن الفراكتال محدوداً وكان يقطع مكعباً طول ضلعه 1، فإن حجمه الأعظمي بالنسبة للقطع يكون من رتبة الضلع 1. وبحسب الحالة، تشكل هذه التفاصيل السنة أو خلجاناً أو أكمام أو جزراً، أو حتى أكداً من النقاط، مما يظهر أن مفهوم الفراكتال يرتبط بمفهوم اللانظام وبالتجزئة معاً.⁽³⁷⁾

وقد شملت نظرية الفراكتالات اليوم كافة النظريات الفيزيائية والشواذات أو حالات الخروج عن النظام، وأوجدت هندسة أشمل للفوضى تبدو فيها حالات الانتظام هي الطفرات البسيطة في الكون⁽³⁸⁾، وتلعب هذه النظرية دوراً أساسياً في دراسة شكل الغيوم والسواحل والجبال وتوزع المجرات في الفضاء والدوامات المبددة في السوائل⁽³⁹⁾، وفي كافة هذه الحالات لم تكن الدرجات المدروسة تتجاوز حداً أدنى موجباً إلى حد أقصى.

وفي حين لعبت الفراكتالات دوراً ناجحاً في العالم الماكروسكوبي، أدخلتها الفيزياء في دراسة الظواهر الحرجة لتسد فراغاً كبيراً، حيث لم تكن هناك هندسة موافقة لهذا المجال، وقد تم تعريف الفراكتالات المتناظرة فيزيائياً، أي التي لا تتغير مع أي تغير طارئ، مما فتح باباً جديداً أمام العلماء، وبخاصة العاملين منهم في مجال القسيمات الأولية.

وتقدم لنا هذه الفراكتالات ميزة جوهرية لـ "الفوضى المحددة"، ألا وهي "الحساسية تجاه الشروط البدئية"، فإذا انطلقنا في نظام منتظم الحركة من شروط ابتدائية متجاوزة وتقع في الإطار الجاذب نفسه، فإن المسارات المتباعدة في فضاء المرحلة ستنتهي بأن تتقارب إلى النقطة الثابتة نفسها أو نحو الدور المحدود، وستكون مختلف هذه المسارات متزامنة في الزمان بالنسبة لبعضها البعض.⁽⁴⁰⁾ وهكذا تتمايز المسارات بسرعة بالنسبة للأنظمة

الفوضوية، وخلال وقت قريب نسبياً تبدو وكأن ليس هناك ما عاد يجمعها، هذا إذا استثنينا أنها في فضاء المرحلة تبقى في جوار الجاذب الغريب.

5- الشروط البدئية و القيمة التحديدية:

إن هذه الحساسية تجاه الشروط البدئية تقلل من قيمة التحديدية التي يمكن وفها التنبؤ بأية صيرورة أو تطور، وحتى بقبولنا أن القوانين الفيزيائية محددة، فإن حالات اللايقين التجريبية التي لا بد منها تؤدي إلى أننا لا نستطيع أبداً أن نعرف بدقة الحالة البدئية لنظام ما، فإذا كان النظام منتظماً تكون الانحرافات وحالات اللايقين بسيطة ويمكن حسابها، أما إذا كان فوضوياً فإنها ستتسع مع الوقت بشكل كبير.⁽⁴¹⁾

إن المسافة التي تفصل المسارات التي كانت متقاربة في المبدأ ستتباعدها، وهكذا فإن التنبؤ بتطور نظام ما يصبح مجرداً من أي معنى، على الأقل على المدى البعيد، ما دام هذا التطور يتعلق بالشرط الابتدائي. هكذا سقطت أسطورة التقدير المسبق المطلق، وكانت الميكانيكا الكوانتية قد وجهت ضربة قوية للتحديدية بقوانينها الاحتمالية⁽⁴²⁾، ولم يعد أحد من العلماء اليوم يعتقد بإمكانية تحقيق تنبؤ بعيد المدى في مجال الأحوال الجوية أو المناخ مثلاً.

لكن السؤال يبقى: هل الفوضى المحددة استثناء أم قاعدة؟ الواقع أن هذه النظرية تبدو وكأنها تشمل أبسط الأنظمة، ففي حين كان جيبس Josiah Gibbs (1839-1903) وبولتزمان Ludwig Boltzmann يعتقدان أن العدد الكبير للجزيئات هو المسؤول عن الفوضى التي تسود غازاً مستقراً⁽⁴³⁾، تبين اليوم أنه ليس من الضروري أن يكون النظام معقداً جداً، فثلاث درجات من الحرية يمكن أن تكفي ليكون هناك فوضى محددة، وهذا يعارض الفكرة القديمة بأن الفوضى تعني عدداً كبيراً في درجات الحرية، وربما كانت هذه الفكرة السائدة هي التي منعت العلماء من الاهتمام بأعمال بوانكاريه حول الفوضى حتى عام 1970.

ومع ذلك، لا يزال دور الفوضى غير مفهوم تماماً في الفيزياء، كيف يتم الانتقال من النظام إلى الفوضى؟ وهل آلية هذه الانتقالات عالمية أم أن هناك عدداً كبيراً أو محدوداً منها؟

ما يهمنا الآن هو أن الأبحاث الجارية في نظرية الأنظمة الدينامكية وفي فيزياء الأوساط الفوضوية سمحت بالبرهان أن الفوضى ليست شيئاً لا يمكن سبره ودراسته، أو أنها تخلو من أية أهمية، بل أنها، على العكس تماماً، جزء من غنى كون مليء بالأسرار.

ثانياً- النظام في الفوضى:

تبدو تلك الفكرة قديمة جداً، حيث تملك الفكرة القائلة بانسجام مضمّر في فوضى الكون، جاذبية ساحرة لطالما ألهمت العلماء و حتى الفلاسفة أيضاً، وعندما جاء العالم الفيزيائي " ميتشل فاينغنبوم " Mitchell Feingenbaum (1944-) إلى المختبر الوطني الأمريكي في لوس ألموس عام 1974 أدرك أن علم الفيزياء يحتاج إلى أفكار قابلة للتطبيق وإلى طرق لتحويل الأفكار الحقة إلى حسابات، ولم يعرف من أين يبدأ؟ ⁽⁴⁴⁾ لقد كانت معضلة شغل بجلها علماء من مجالات كثيرة، لأن الكل عالق في مشكلة تلك النظم اللاخطية الطابع.

لم يعلم أحد أن الخلفية المناسبة لحل تلك المعضلة تتشكل من معرفة جيدة بفيزياء الجسيمات، ومعرفة الفيزياء الكمومية تشتمل على معرفة بتلك التراكيب التي تسمى "مجموعة إعادة التطبيع" وكذلك لم يعلم أحد ضرورة فهم النظرية العامة عن الاحتمالات، والبنى التي تصفها هندسة التكرار المتغير، لقد امتلك فاينغنبوم الخلفية العلمية المناسبة، وفعل الشيء المناسب في الوقت المناسب ⁽⁴⁵⁾.

جلب فاينغنبوم الى "لوس ألموس" فكرة تقول أن العلم فشل في فهم المسائل الصعبة، أي تلك المتعلقة بالمسائل اللاخطية، فقد راكم خلفية علمية استثنائية، من خلال شروعه في إزاحة كل الأفكار عن التعقيد الحقيقي وبدلاً منها انصرف إلى محاولة حل أبسط المعادلات اللاخطية ⁽⁴⁶⁾. استعمل فاينغنبوم الآلة الحاسبة الشهيرة من نوع "أتش بي - 75"

بكثافة لأنها مثلت حبرا بين الورقة والقلم والكمبيوتر الذي لم يكن قد حقق اختراقا كبيرا في الأوساط العلمية، فأخذ يستعمل مزيجا من علم الجبر التحليلي والتقصي الرقمي للتوصل إلى فهم أفضل للخصائص البيانية التي تعبر عن معادلات الفرق من الدرجة الرابعة، مركزا على الحدود التي تفصل بين الانتظام و الكاوس⁽⁴⁷⁾.

قاده بطاء الآلة الحاسبة لتحقيق اكتشاف تمثل في ظهور انتظام غير منتظم في النظام، وأخذت الأرقام في التقارب هندسيا، كما تتقارب أعمدة الهاتف الضخمة لمن يراها من بعيد.

إن نسبة الرقم التالي إلى سابقه تساوي نسبة الرقم الذي يليه إليه، وهكذا لم يكن تضاعف الدورات قد بات يسير بوتيرة سريعة، بل إن تلك البوتيرة نفسها صارت منتظمة، لقد كشفت الطبيعة عن انتظام غير متوقع في الفوضى⁽⁴⁸⁾.

وهكذا استطاع فاينينوم بواسطة آلة حساب يدوية أن يبين أن الفوضى ليست عشوائية كما ظن كل إنسان بها، فالطريق إليها عام شامل في كافة النظم بلا استثناء، بل ويتضمن رقما ثابتا عاما مرتبطا بالتحول إليها، يعتبر من أعجب ثوابت الطبيعة⁽⁴⁹⁾.

لقد علم العلماء منذ زمن أن الاضطراب يتضمن طيفا متصلا من الترددات المختلفة، وعلموا أيضا أنهم لا يعرفون مصدر تلك الترددات، وفجأة جاء فاينينوم ليقترح أن تلك الترددات تأتي بطريقة متتابعة، بحيث يتركز التالي منها إلى اللاحق، ويترجم ذلك في علم الفيزياء بأن النظم الموجودة في الطبيعة تتصرف بطريقة يمكن حسابها وملاحظتها بأنها متشابهة كما⁽⁵⁰⁾ فنظريته تصف المرحلة التي تنتقل من النظام الى الاضطراب. والحق أن فاينينوم اكتشف "النظرية الشاملة" وابتكر نظرية لشرحها فكان ذلك نقطة الارتكاز التي استند إليها علم الفوضى، ومن هنا انطلقت حركة الكاوس مدفوعة بقوة " النظرية الشاملة " .

وفي صيف العام 1977 نظم الفيزيائيان " جوزيف فورد " Joseph Ford و " خوليو كازاتي " Giulio Casati (1942-) أول مؤتمر عن علم اسمه الكاوس (علم الفوضى)، وبحسب رأي فورد فقد اكتشف فاينينوم النظرية الشاملة وبيّن طرق

تعاملها مع المقاييس، ووصف مراحل الانتقال من الانتظام إلى الفوضى بطريقة تبدو جذابة حدسيا، لقد صنع نموذجاً عن الكايوس واضحاً قابلاً للفهم العام...⁽⁵¹⁾. وتوصل فايينبوم إلى أنه يجب النظر إلى المقاييس المتضمنة في بنية التراكيب المختلفة، أي الكيفية التي تتواصل فيها الأشياء الكبيرة مع الأشياء الصغيرة⁽⁵²⁾، تنظر إلى الاضطراب في السوائل، إنها تراكيب معقدة، وقد انبثق تعقيدها من عملية ثابتة، فعند مستوى ما لا يعود حجم تلك العملية مهما سواء بحجم حبة بازلاء أو كرة السلة، لا تهتم تلك العملية بالحجم، ولا تهتم بالزمن الذي تستمر فيه، المهم هو الشيء الشامل وبمعنى ما، المهم هو ما يعبر خلال المقاييس كلها.

1- النظام والفوضى في الفيزياء

تقودنا المعطيات السابقة إلى محاولة فهم الفوضى والنظام في إطارهما الفيزيائي بقدر ما يكون ذلك ممكناً، إن الطبيعة تقدم لنا باستمرار الأمثلة على النظام والفوضى وعلى حالات الانتقالات بينهما. من منا لم تدهشه هندسة ندفة الثلج، وحاول الإمساك بها فإذا بها تتحول إلى نقطة ماء؟ يبدو لنا أن تعريف النظام أمر سهل، لكنه في الحقيقة أصعب من تحديد ماهية الفوضى، فالتطور الطبيعي يميل نحو الفوضى بحسب المبدأ الثاني في الترموديناميكا.⁽⁵³⁾

وبشكل أبسط، فإن كل مظاهر الطبيعة هي تعقيدات فوضوية، فالخلايا في النهاية هي مظهر فوضوي، الصخرة مثلاً، أو الهواء، أو الغيمة هي أشياء خليطة يسهل دمج مكوناتها أكثر بكثير من فصلها وتحديداتها، ولقد بات بالإمكان منذ أعمال جيبس Josiah Gibbs وولترزمان Ludwig Boltzmann شرح وحساب درجة الفوضى في نظام مادي، لكن هذه الأعمال نفسها تقدم للمرة الأولى إمكانية علمية دقيقة لتحديد النظام⁽⁵⁴⁾، وعلينا أن نتذكر دائماً أن النظام والفوضى كانا باستمرار جوهر وأساس التطور النظري في الفيزياء.

فلقد شكل النظام مثلاً في عصر ماكسويل تناقضاً خطيراً في مفهوم الحقيقة الفيزيائية بنتيجة التمثيلين السائدين آنذاك: فقد كان يُفترض أن نموذج الميكانيكا النيوتونية

قادر على تفسير كل نظام فيزيائي، وبالتالي كان يجب إيجاد القوانين نفسها المطبقة في العالم الماكروسكوبي في العالم الميكروسكوبي⁽⁵⁵⁾، غير أن هذا التمثيل الميكانيكي كان مؤسساً على العكسية في الحركة (حيث يكفي إبدال إشارة + ب - في المعادلات). ولكن كيف كان من الممكن القبول عندها بتفسير للظواهر اللاعكوسة على المستوى الماكروسكوبي بحركات عكوسة على المستوى الميكروسكوبي؟ فكان لابد عندها من التخلي عن التحديدية الكلاسيكية السائدة وإدخال الاحتمال في قلب الظواهر، بحيث أمكن تجاوز هذا التعارض.

كذلك فإننا نجد تراتبية واضحة لمفهوم النظام في الحقيقة الفيزيائية الواحدة، إذ نستطيع وصف حركة غاز كما نراه من خلال قانون ماريوت-غي لوساك (La loi de Mariotte & Gay-Lussac)، في حين أننا على المستوى الجزيئي نلجأ إلى نماذج النظرية الحركية للغازات المؤسّسة على قوانين الاحتمال، أما على المستوى الكوانتي فعلى إدخال معادلات جديدة.⁽⁵⁶⁾

إن هذه التراتبية أساسية بالنسبة للفيزيائي، وهي تسمح له بتعيين نظام أو فوضى قياساً إلى نظام أو فوضى آخرين، وينطبق ذلك بشكل ما على قوانين الترموديناميكا، فالترموديناميكا تركز على مبدئين رئيسيين، الأول منهما هو **إنحفاظ الطاقة** بجوهره، أما المبدأ الثاني فهو خاص بالأنظمة التي تتميز بعدد كبير من درجات الحرية، ومؤداه أن **الفوضى تزداد مع الزمن**، أو تبقى ثابتة بالنسبة للصيرورات العكوسة⁽⁵⁷⁾، ونلاحظ أنه ينطبق على الأنظمة الكبرى فقط، كون الأنظمة الصغرى لا تتضمن مفهوم النظام بشكله الواسع، فعندما يكون لدي كتاب واحد، لا يكون ثمة معنى لتصنيفه أو ترتيبه في مكتبة.

والمثال الشائع على المبدأ الثاني هو أن كل شيء حار يبرد، فلماذا تجري الأمور على هذا النحو؟ السبب هو أن كل شيء في الطبيعة ينحو إلى الاستقرار، فعندما نخلط غازين في زجاجة واحدة نلاحظ أنهما يصلان إلى توزيع متجانس بعد حين، فإذا كانا

من الأوكسجين والآزوت يمكن تفسير تجانس الهواء الناتج من تساوي تركيزات التشكيلات الحاصلة.

ويمكن تمثيل الأمر على النحو التالي: إذا رمينا النرد وحصلنا على 1 نضع جزيء أكسجين، وإذا حصلنا على 2 أو 3 أو 4 أو 5 وضعنا جزيء آزوت، أما إذا حصلنا على 6 فنعيد رمي النرد، وهكذا، وبالتالي فإننا نحصل على الهواء فقط لأن احتمال عدد الرميات x الممكنة المختلفة الموافقة لتركيز يساوي 20% من الأكسجين أكبر بكثير من أي احتمال آخر يمكن أن يؤدي إلى تركيز آخر⁽⁵⁸⁾، وتبين الحسابات أنه لو أردنا رؤية الغازين منفصلان من تلقاء نفسيهما دون أي تدخل، لكان علينا انتظار 10^{250} سنة، في حين أن عمر الكون لا يرجع إلا لنحو 10^{16} سنة فقط.

2- قانون الأنتروبيا وقياس الفوضى:

لقد حاول الفيزيائيون منذ زمن طويل تكميم الفوضى، واستخدم لهذا الغرض مفهوم الإنتروبيا Entropie، وكان مفهوم الطاقة الموافق للمبدأ الأول في الترموديناميكا قد اشتق من خاصية انخفاض الكمية الأساسية، مما أدى لتقبُّله بسهولة، وعلى العكس تماماً، كان الأمر بالنسبة لمفهوم الإنتروبيا الذي ظل غامضاً بسبب محتواه الكيفي نسبياً فيما يتعلق بالفوضى وباللائنتظام وبالعكسية⁽⁵⁹⁾.

لقد تناولت الفيزياء الكلاسيكية -في أغلب الأحوال- النظم المتوازنة، ووضعت قوانين الديناميكية الحرارية حسب هذه النظم، وأحد هذه القوانين -وربما أهمها- هو قانون "الأنتروبيا"، والأنتروبيا يعد مقياساً للفوضى، وهو يزداد على الدوام في النظم المغلقة. فإن طبقنا هذا القانون على الكون ككل نقول: إن الكون كان في بدايته منظماً بدرجة كبيرة، ثم بدأت الفوضى بالزيادة فيه، وفي النهاية عندما تتساوى الحرارة بين كل أجزائه تتوقف جميع الفعاليات والتفاعلات.⁽⁶⁰⁾ أما النظم المفتوحة، أي النظم التي تأتي إليها الطاقة والمادة من الخارج، فهي نظم غير مستقرة في الأغلب، وهي -حسب الديناميكية الحرارية- نظم أهمل تدقيقها، كما أن تدقيقها صعب بدرجة كبيرة، وقد اهتم العالم

"بريغوجين" Ilya Prigogine (1917-2003) وأصدقائه بهذه النظم وتوصلوا إلى نتائج تستدعي الانتباه. (61)

فالدوامات التي تحصل في نهر سريع الجريان، والدوامات الهوائية، والأعاصير التي تحصل في الطبقات الجوية، والأشكال المعقدة التي يشكلها بندول متحرك، والأشكال الزخرفية المعقدة التي تتشكل بعد بعض التفاعلات الكيميائية، أمثلة على البنى المعقدة التي تُشكّلها المنظومات غير المستقرة نتيجة قوى خارجية تؤثر فيها

ولكن يجب معرفة التعاريف العلمية للمصطلحات الواردة هنا من أمثال "المنظومة" و"المعقد" و"النظم المستقرة وغير المستقرة" وملاحظة معاني هذه المصطلحات والتعاريف، فمثلاً يعرض لنا نهر يسيل ببطء سيلاً هادئاً ومستقرّاً، ولكن ما إن تزيد سرعة التدفق عن حد معين حتى تتشكل الدوامات فيه، أي تظهر هنا بُنى جديدة وهي بنى الدوامات. ولما كانت هذه البنى الجديدة معقدة التركيب وأكثر ديناميكية، لذا يقال أن النهر أصبح أكثر نظاماً من حاله الأول القريب من الركود، أي أن درجة النظام في أي منظومة تقاس بمقدار تعقدها وليس ببساطتها، ولا يعني التعقيد هنا، الفوضى وعدم النظام، بل هو مصطلح يعبر عن ارتباط أجزاء عديدة ارتباطاً بنيوياً ضمن علاقات خاصة لتحقيق مهمات معينة. ولا شك أن هذه المصطلحات لا تزال مبهمة من الناحية العلمية، ولم يتم التوصل حولها إلى إجماع في القبول، ولكن هناك مساعٍ عديدة تبذل حالياً حولها، وهي محل اهتمام خاص.

فإن أردنا التلخيص نقول بأن الاحتكاك الذي يعد في نظر فيزياء نيوتن (أي الفيزياء الكلاسيكية) عنصراً ضاراً يعوق الحركة والطاقة ويعمل ضدهما... هذا الاحتكاك يؤدي إلى تشكيل منظومات جديدة وبنى معقدة في بعض المنظومات المفتوحة وغير المستقرة، ثم إن الاحتكاك والمقاومة وغيرها من القوى غير المرغوب فيها عادة قد تلعب دوراً في توليد النظام (62)، وهذا يشير إلى وجود الجمال والفائدة في كل شيء بالمعنى المطلق.

وقد حدد بولتزمان هذه الصعوبة بالعلاقة التي قدمها نحو عام 1875 معرّفاً فيها الإنتروبيا الإحصائية بالشكل: $S = k \log W$ ، حيث S الإنتروبيا، و k ثابت بولتزمان،

و W يمثل عدد التشكيلات الميكروسكوبية المتوافقة مع التقييدات الماكروسكوبية المفروضة على النظام، ونلاحظ أنه كلما كان النظام أغنى بالتشكيلات الممكنة كانت هذه الإنتروبيا أكبر⁽⁶³⁾

وعلينا الإشارة إلى أن مفهوم الإنتروبيا هذا يختص بحالات الاستقرار التي يمكن للنظام بلوغها ضمن صيرورة لعاكوسة، ويُعد هذا التعريف هو التعريف الميكروسكوبي الذي يمكن ربطه بالتعريف الماكروسكوبي المعطى في الترموديناميك، وهكذا يمكننا استخلاص تعريف للنظام في الميكانيكا الإحصائية اعتماداً على مفهوم الإنتروبيا.⁽⁶⁴⁾

3- الفوضى المحددة:

بعد أن حددنا مفهوم الإنتروبيا بدقة، يبقى علينا أن نعرّف "الفوضى المحددة" التي سبق وذكرناها، لقد بيّن بوانكاريه منذ القرن الماضي أنه يمكن أن يكون للحركة المحددة بدرجات قليلة من الحرية بعض صفات الحركة الفوضوية، فنقول عن حركة محددة أنها حركة فوضوية محددة عندما تتحقق الصفات التالية: عدم التكرار، وعدم إمكانية التنبؤ المستقبلي بها، ومرور النظام بالضرورة بكافة الحالات الميكروسكوبية التي تصادفه (ergodicité)، وهكذا نميز بين الفوضى التي يزداد فيها اللاتعين بشكل أسّي، والفوضى المحددة التي يزداد فيها اللاتعين بشكل خطي.

قد نظن من خلال تعبير "الفوضى المحددة" أنه بالإمكان حساب هذه الفوضى ولو عن طريق الكمبيوتر، إلا أن المسألة في جوهرها تتعلق بتحديد الحسابات، فما هو صحيح في تحديد البدايات أو الشروط البدئية صحيح أيضاً في التكرارات، فعلى مدى كل مرحلة من الحسابات تدخل أخطاء جديدة ناجمة عن التدوير، فكل عدد يُمثّل في الكمبيوتر بعدد من البيت bits التي نلقمها بعد التقريب لأن ذاكرة الكمبيوتر محدودة فيزيائياً، وبالتالي فليس بإمكاننا معالجة الأعداد الحقيقية تفصيلاً.

وهكذا لا يمكن تعويض البيت التي فُقدت، لكنها تشارك مع ذلك في حساب المسارات في الفوضى المحددة بقدر مساهمة الأعداد المبرجة نفسها، وبالنتيجة، ستكون

النتائج التي نحصل عليها خاطئة وليست تقريبية، ومن هنا تعذر التقدير على المدى البعيد، لكن هذا النقد الرياضي بحت، وهو لا يمس الفوضى المحددة الفيزيائية.

خاتمة:

وفي الأخير نستنتج أن علماء الفيزياء قد اكتشفوا الفوضى في الطبيعة، وقاموا بإعداد علم قائم بها، ولهذا فقد تغيرت نظرة العلم من النظرة التقليدية الحتمية المطلقة القائمة على فكرة النظام والاتساق الكوني إلى نظرة جديدة أين أصبح فيها اللانظام (الفوضى) شرط جديد للمعرفة ووجه مقابل لهذا النظام، وهذا التغير قد طال مختلف العلوم بما فيها العلوم الإنسانية.

الهوامش:

(¹) - ر. روتن، اتجاهات في الديناميك اللاخطي : التكيف مع التعقيد ،مجلة العلوم الأمريكية، المجلد 9، العددان 7 و8، 1993، ص 6 .

(²) - اليا بريغوجين، نظام ينتج عن الشواش: حوار جديد بين الانسان و الطبيعة ، ترجمة طاهر بديع شاهين ، منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب ، دمشق ، 2008. ص 65.

(³) - Gleick James, Chaos making a new science, Viking press, New York, 1997.

- انظر أيضا :جيمس غليك، *الهيولية تصنع علما جديدا*، ترجمة علي يوسف علي، المشروع القومي للترجمة، 2000، ص 22.
- (4) - جيمس غليك ، المرجع السابق ، ص 148
- (5) - باري باركر ، *الهيولية في الكون: التعقيد المذهل للكون* ، ترجمة علي يوسف علي، المجلس الأعلى للثقافة ، القاهرة، 2002 ، ص 20.
- (6) - جون جريين، *البساطة العميقة ، الانتظام في الشواش و التعقد*، عرض د صبحي رجب، المكتبة الاكاديمية ، القاهرة 2007، ص 21.
- (7) - باري باركر ، *الهيولية في الكون* ، المرجع السابق ، ص 50.
- (8) - جيمس غليك، *الهيولية تصنع علما جديدا*، مرجع سابق ، ص 126 .
- (9) - جون جريين، *البساطة العميقة : انتظام في الشواش و التعقيد* ، ص 47.
- (10) - جون جريين، *المرجع السابق*، ص 49.
- (11) - السيد نصرالدين السيد، "الانتظام الذاتي: اثبات النظام من الفوضى" المكتبة الاكاديمية ، القاهرة ، 2008، ص 58.
- (12) - السيد نصر الدين السيد ، *المرجع السابق*، ص 59.
- (13) - باري باركر ، *الهيولية في الكون* ، ص 196
- (14) - بدوي عبد الفتاح ، *فلسفة العلوم* ، ، دار قباء، القاهرة، 2001، ص 353.
- (15) - فيرنر هيزنبرغ ، *الطبيعة في الفيزياء المعاصرة* ، ترجمة أدهم السمان ، دار طلاس ، دمشق، 1986، ص 52-53.
- (16) - معين روميه ، *مدخل إلى نظرية التعقيد و الشواش* ، دار معابر ، دمشق، راجع موقع معابر السوري http://maaber.50megs.com/issue_december03/epistemology_1.htm
- (17) - جيمس غليك ، *نظرية الفوضى و علم اللامتوقع* ، المرجع السابق ، ص 161.
- (18) - جيمس غليك ، *نفس المرجع* ، ص 167 .
- (19) - Prigogine I., Stengers I., *la nouvelle alliance Métamorphose de la science*, Gallimard, Paris, 1979.
- أنظر أيضا:اليا بريغوجين ، *نظام ينتج عن الشواش*، ترجمة طاهر بديع شاهين ، دمشق 2008، ص 112.
- (20) - جون جريين، *البساطة العميقة : انتظام في الشواش و التعقيد*، ص 35-36.
- (21) - اليا بريغوجين ، *نظام ينتج عن الشواش* ، ص 143
- (22) - رايف ميشو، *ما الكون ؟ جامعة كل المعارف*، ج 4، المشروع القومي للترجمة، ط 1، المجلس الأعلى للثقافة ، القاهرة، 2006، ص 1294.
- (23) - كولن ولسون، *فكرة الزمان عبر التاريخ*، ترجمة فؤاد كامل، مراجعة شوقي جلال، سلسلة عالم المعرفة، العدد 159، المجلس الوطني للثقافة و الفنون و الآداب، الكويت، 1992، ص 252.
- (24) - اليا بريغوجين، *نظام ينتج عن الشواش*، ص 318.
- (25) - فيرنر هيزنبرغ، *الطبيعة في الفيزياء المعاصرة*، ص 53.
- (26) - رودلف كارناب، *الأسس الفلسفية للفيزياء*، ترجمة السيد نفاذي، دار الثقافة الجديدة، القاهرة، ص 313.
- (27) - ايان ستيفارت ، *من يلعب الرد؟*، ترجمة بسام أحمد المغربي، دار طلاس، دمشق 1994، ص 54 .
- (28) - يعني طريف الخولي ، *فلسفة العلم في القرن العشرين*، سلسلة عالم المعرفة ، العدد 264 ، ص 116-117.

- (29) - هذه العلاقة هي : $S=K.logP$ ، حيث S هي الانتروبيا ، و P هي الاحتمالية ، و K يسمى ثابت بولتزمان ، و قد نقشت هذه العلاقة على قبر بولتزمان.
- (30) - رايف ميشو، ما الكون ؟ مرجع سابق ، ج4، ص 1295.
- (31) - رايف ميشو، مرجع سابق، ص 1296.
- (32) - السيد نصر الدين السيد، الانتظام الذاتي: اثبات النظام من الفوضى، ص 47.
- (33) - اليا بريغوجين ، نظام ينتج عن الشواش ، ص 320.
- (34) - Mandelbrot B., les objets fractals, Flammarion, Paris 1989.
- (35) - سامي خشبة ، مصطلحات الفكر الحديث ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ج2، 2006، ص 149
- (36) - د.نظلة حسن أحمد ، معلم الرياضيات والتجديدات الرياضية: هندسة الفراكتال ، عالم الكتب ، القاهرة، 2004، ص 47.
- (37) - روبرت ب. لافلين، كون متميز: إعادة ابتكار الفيزياء من أساسها ، ترجمة عزت عامر، المركز القومي للترجمة ، القاهرة، 2010، ص 184.
- (38) - Mandelbrot B., les objets fractals, Flammarion, Paris 1989.
- (39) - د.نظلة حسن أحمد خضر، معلم الرياضيات والتجديدات الرياضية، ص 48
- (40) - كيتاييجور رودسكي ، النظام و الفوضى في عالم الذرات، ترجمة د.داود سليمان المنير، ص 179.
- (41) - اليا بريغوجين ، نظام ينتج عن الشواش ، ص 65-66.
- (42) - ليونيد بونوماريف، الاحتمالات المثيرة للنظرية الكمية، ترجمة إيمان أبو شادي ،مراجعة جلال عبد الفتاح ، ص 201.
- (43) - د.سالم يافوت ، العقلانية المعاصرة بين النقد و الحقيقة ، ط2، دار الطليعة ، بيروت ، 1989، ص 78.
- (44) - Gleick James, Chaos making a new science, Viking press, New York, 1997.
- انظر ايضا : جيمس غليك، الهولوية تصنع علما جديدا، ص 20-21.
- (45) - كيتاييجور رودسكي ، النظام و الفوضى في عالم الذرات ، ص 184.
- (46) - السيد نصر الدين السيد ، الانتظام الذاتي: مرجع سابق، ص 168.
- (47) - جيمس غليك، الهولوية تصنع علما جديدا ، ص 145.
- (48) - كيتاييجور رودسكي ، النظام و الفوضى في عالم الذرات ، ص 188.
- (49) - باري باركر ، الهولوية في الكون: التعقيد المذهل للكون ، ص 22.
- (50) - باري باركر، نفس المرجع ، ص 24.
- (51) - جون جيريين ، البساطة العميقة : انتظام في الشواش و التعقيد ، ص 54.
- (52) - جون جيريين ، نفس المرجع، ص 55.
- (53) - السيد نصر الدين السيد ، الانتظام الذاتي : اثبات النظام من الفوضى، ص 11 .
- (54) - د.سالم يافوت ، العقلانية المعاصرة بين النقد و الحقيقة ، ص 79.
- (55) - ايان ستيوارت، من يلعب النرد؟، ترجمة بسام أحمد المغربي ، ص 57.
- (56) - جيزو الوغرياو مجموعة من المفكرين، الزمان و المكان اليوم، ترجمة محمد وائل بشير الاتاسي، دار الحصاد، سوريا 2002، ص 1294.

- (57) - فيتالي أخوتين و فاروق زاده و آخرون، مبادئ الهندسة الحرارية، ترجمة المهندس عيسى الزبيدي، دار مير موسكو، 1990، ص 30.
- (58) - رايف ميشو، ما الكون؟، ص 1293.
- (59) - م أحمد شفيق الخطيب، معجم المصطلحات العلمية و الفنية و الهندسية، ط6، مكتبة لبنان، بيروت، 1989، ص 201.
- (60) - ب. ايفانوف، الفيزياء الحديثة، دار مير للطباعة و النشر موسكو، ط2، ص 278.
- (61) - اليا بريغوجين - ازاييل ستنغرز، بين الزمن و الأبدية، ترجمة موسى ديب الخوري، معهد الإنماء العربي، بيروت، 1999، ص 99.
- (62) - كيتايچور رودسكي، النظام و الفوضى في عالم الذرات، ص 229.
- (63) - كولن ولسون، فكرة الزمان عبر التاريخ، ص 252-253.
- (64) - اليا بريغوجين - ازاييل ستنغرز، بين الزمن و الأبدية، ص 99.

قائمة المراجع

- 1- أحمد شفيق الخطيب، معجم المصطلحات العلمية والفنية والهندسية، ط6، مكتبة لبنان، بيروت، 1989.
- 2- السيد نصرالدين السيد، "الانتظام الذاتي: انبثاق النظام من الفوضى" المكتبة الأكاديمية، القاهرة، 2008.
- 3- اليا بريغوجين - ازاييل ستنغرز، بين الزمن و الأبدية، ترجمة موسى ديب الخوري، معهد الإنماء العربي، بيروت، 1999، ص 99.
- 4- اليا بريغوجين، نظام ينتج عن الشواش: حوار جديد بين الانسان و الطبيعة، ترجمة طاهر بديع شاهين، منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب، دمشق، 2008.
- 5- ايان ستيفارت، من يلعب النرد؟، ترجمة بسام أحمد المغربي، دار طلاس، دمشق 1994.
- 6- ايفانوف، الفيزياء الحديثة، دار مير للطباعة و النشر موسكو، ط2، ص 278.
- 7- باري باركر، الهوليوية في الكون: التعقيد المذهل للكون، ترجمة علي يوسف علي، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة، 2002.
- 8- بدوي عبد الفتاح، فلسفة العلوم، دار قباء، القاهرة، 2001.
- 9- جون جريبين، البساطة العميقة، الانتظام في الشواش و التعقد، عرض د صبحي رجب، المكتبة الأكاديمية، القاهرة، 2007.
- 10- جيزو الورغياو مجموعة من المفكرين، الزمان و المكان اليوم، ترجمة محمد وائل بشير الاتاسي، دار الحصاد، سوريا 2002.
- 11- جيمس غليك، نظرية الفوضى و علم اللا متوقع.
- 12- جيمس غليك، الهوليوية تصنع علما جديدا، ترجمة علي يوسف علي، المشروع القومي للترجمة، 2000.
- 13- رايف ميشو، ما الكون؟ جامعة كل المعارف، ج4، المشروع القومي للترجمة، ط1، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة، 2006.

- 14- روبرت ب. لافلين، كون متميز: إعادة ابتكار الفيزياء من أساسها ، ترجمة عزت عامر، المركز القومي للترجمة، القاهرة، 2010.
- 15- روتن، اتجاهات في الديناميك اللاخطي: التكيف مع التعقيد، مجلة العلوم الأمريكية، المجلد 9، العددان 7 و 8، 1993.
- 16- رودلف كارناب، الأسس الفلسفية للفيزياء، ترجمة السيد نفاذي، دار الثقافة الجديدة، القاهرة.
- 17- سالم يافوت ، العقلانية المعاصرة بين النقد و الحقيقة ، ط2، دار الطليعة ، بيروت ، 1989.
- 18- سامي خشبة ، مصطلحات الفكر الحديث ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ج2، 2006.
- 19- فيتالي أخوتين و فاروق زاده و لآخرون، مبادئ الهندسة الحرارية ، ترجمة المهندس عيسى الزبيدي، دار مير موسكو، 1990.
- 20- فيرنر هيزنبرغ ، الطبيعة في الفيزياء المعاصرة ، ترجمة أدهم السمان ، دار طلاس ، دمشق، 1986.
- 21- كولن ولسون، فكرة الزمان عبر التاريخ، ترجمة فؤاد كامل ،مراجعة شوقي جلال، سلسلة عالم المعرفة، العدد 159، المجلس الوطني للثقافة و الفنون و الآداب، الكويت، 1992.
- 22- كيتاييجور رودسكي ، النظام و الفوضى في عالم الذرات، ترجمة د. داود سليمان المنير .
- 23- ليونيد بونومارييف، الاحتمالات المثيرة للنظرية الكمية، ترجمة إيمان أبو شادي ،مراجعة جلال عبد الفتاح
- 24- معين روميه ، مدخل إلى نظرية التعقيد و الشواش ، دار معابر ،دمشق، راجع موقع معابر السوري
http://maaber.50megs.com/issue_december03/epistemology_1.htm
- 25- نظلة حسن أحمد، معلم الرياضيات والتجديدات الرياضية: هندسة الفراكتال، عالم الكتب، القاهرة، 2004.
- 26- بنى طريف الخولي ، فلسفة العلم في القرن العشرين، سلسلة عالم المعرفة ، العدد 264 .
- 27- Gleick James, Chaos making a new science, Viking press, New York, 1997.
- 28- Prigogine I., Stengers I., la nouvelle alliance Métamorphose de la science, Gallimard, Paris, 1979.
- 29- Mandelbrot B., les objets fractals, Flammarion, Paris 1989.