نظرية الفوضى...
وهدم التصور الحتمي

أ. داود خليفة، جامعة الشلف

مقدمة:

يستمد العلم مقوماته من تغيرات الواقع، ويحوّل ذلك إلى تصورات في محاولة لتفسير هذا الواقع. والفكر العلمي المعاصر تتخلله رؤى جديدة إلى الواقع في مختلف مستويات الوجود، تعبر إلى حد ما عن انفصال وقطيعة مع ما تحقق في الماضي. وهذا التحول الذي حصل في هذا التفكير الجديد اعتبره البعض بمثابة ثورة علمية ثانية كالتي حصلت في القرن السابع عشر.

لقد قدم الفكر العلمي الجديد نماذج معرفية صنعتها عدة نظريات، لاسيما في ميدان الفيزياء، وكان من أهمها: ميكانيكا الكم ونظرية النسبية... وما صاحب ذلك من تغير بعض المفاهيم العلمية الأساسية كالانتظام والاطراد والتنبؤ والاتصال..، وبرزت إلى الوجود أبحاث تسعى إلى الكشف عن تفاصيل الظواهر الطبيعية؛ فتوصل بعض العلماء الى أن ظواهر الطبيعة لا هي بمطردة وغير منتظمة ولا يمكن التنبؤ بها، ومن ثمّ فإن إمكان فهم الطبيعة باستعمال المنهج الرياضي لا يصمد – في كل الأحوال – أمام ما تزخر به ظواهر الطبيعة من تفاعلات غير متوقعة.

وبالموازاة مع ذلك ظهرت تصورات جديدة، تعبر عن الأسلوب الذي تعمل به الطبيعة بمختلف مستوياتها، وهذه التصورات لا تنسجم أو تتفق مع النموذج الميكانيكي للطبيعة، الذي قام على أساس السببية الحتمية، نذكر من تلك التصورات: **الكُلّيانية، التشابك، الأنظمة المعقدة، النسق الكاوسي، الفيزياء اللاردية، حرية الاختيار**.. وهي تصورات وإن اختلفت عن بعضها البعض إلا أنها تشترك في تصور عام؛ وهو منح الأهمية لما هو غير قابل للتنبؤ، وبالتالي فإن ظهورها هنا مضاد للتصور الحتمي، فتغير الطرح العلمي، جرّاء ذلك، وانتقل من مستويات الحتمية إلى اللاحتمية محدثا تغييرا جذريا للتصور العلمي في العصر الحديث ولثوابت وأسس المنظومة الابستيمولوجية السابقة القائمة على السببية الحتمية. وسيقتصر مقالنا على نظرية الفوضى كتعبير عن هذا التصور اللاميكانيكي المناقض للسببية والحتمية.

1- نظرية الفوضى (الكاوس Chaos):

من أولى النظريات التي ظهرت، بديلا للسببية الحتمية وتعبيرا عن الوجه اللاحتمي للطبيعة كانت نظرية الفوضى*، التي هي واحدة من التصورات الجديدة في العلم المعاصر، وسادت معظم المجالات

كـــالموائع، التنبؤات الجوية، النظام الشمسي، الأسهم المالية المجتمع السكاني والحيواني والنباتي، العضوية الدقيقة ونماذج التسابق نحو التسلح...

وقد ظهرت هذه النظرية في الستينيات من القرن الماضي، وتطورت في اتجاهات مختلفة وطبقت في ميادين واسعة وعلى ظواهر متنوعة، إلى درجة أن مفاهيمها وتصوراتها أصبحت تمثل قطيعة مع المفاهيم الكلاسيكية التي أسست للعلم الحديث منذ **غاليلو وديكارت**، وغيرت بالتالي الصورة التي كوناها عن العالم بصورة جديدة تسمح بفهم أفضل للعوامل المحركة لهذا العالم وتطوره.

والموضوع الذي تتناوله نظرية الفوضى هو دراسة النظم المعقدة والديناميكية التي هي نظم لاخطية مفتوحة تدخل إليها المواد والطاقة وتخرج منها وتبدي سلوكا عشوائيا، بمعنى أن حركة هذه النظم تتجه صوب العشوائية في صورة فوضى، حتى تبدو القوانين كلها وكأنها عجزت عن تفسيرها. ويعود سبب ذلك العجز الى كون المعادلات التي تصف هذا السلوك هي المعادلات التفاضلية اللاخطية، الـــتي هـــي معادلات صعبة الحل أو لا نجد حلا لها إلا استثنائياً، وذلك لأن «المعادلات التفاضلية تُعامل الـــتغير في الزمن كمتصل، وليس كمتغيرات مجزأة»[1]، وبالتالي فإن تمييز المنظومة الدينامية بأنها خطية أو غير خطية يعتمد على طبيعة معادلات الحركة التي تصفها، فتكون المنظومة خطية (Linéaire) إذا كانت المعادلـــة التي تصفها تفاضلية ولا تحتوى أي من المتغيرات، وبالتالي يمكن تحليلها بشكل مباشر وإعادة تركيبـــها من/إلى منظوماتها الجزئية. وتكون 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 مشـــروط بالماضي بكيفية كلية.

أما في الأنظمة اللاخطية (Non-Linéaire)، فهي على النقيض من ذلك، فكرة التجميع المباشـــر هذه تفشل عندما تكون سلوكيات مكونات المنظومة مترابطة ومتبادلة بشكل كبير، حيـــث لا يمكـــن التعامل مع المنظومة، ولو بشكل تقريبي، كمجموعة من الأجزاء الفردية غير المترابطة، ولا يمكن وصف المكونات الجزئية بشكل كامل بدون الرجوع إلى بنيات المنظومة على المســـتوى الأعلـــى. بمعـــنى أن المكونات الجزئية مرتبطة بكل المكونات الجزئية الأخرى إلى درجة أنه لا يمكن لأي مكون من المنظومة أن يتغير إلا من خلال فرض بعض التغيير على المنظومة ككل[2].

إن كل نظام لاخطي بسيط لا يتمتع بالضرورة بخصائص ديناميكية بسيطة، وينطبق ذلك علـــى القوانين التي تحكم التغيرات الجوية، التي يعبر عنها رياضياً بمعادلات تفاضلية غير خطية، ممـــا يعـــني 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 إن إمكانية التنبؤ بها محدودة جداً، من ثمّ فإن الحسابات المبنية على النتائج التنبؤية ليست دقيقة أبدا.

هذا، وتوجد في الطبيعة ظواهر كثيرة تعد مثالاً 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، أزمات، حروب...). وعليه، 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 المهتزة المترابطة، التفاعلات الكيميائية، تميز الخلايا، الوظائف العصبونية... مثل هذه الظواهر تمت دراستها باستخدام رياضيات الديناميات اللاخطية ونظرية الأنظمة المعقدة، وهي أكثر ما يواجه العلماء من تحديات وصعوبات في وقتنا الراهن.

وبشكل عام يمكن القول إن هناك 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 ثمّ 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 الأحراش، 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[3].

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 ثمّ لا يمكن التنبؤ بتفاصيل موضع وحركة كل جزيء في أي منظومة مركبة[4]، وذلك إما بسبب عدم تكراره أو بسبب حساسيته للشروط المبدئية، فخاصية اللاتنبؤ هي ما يسمى بـ**النسق الكاوسي**.

وعدم القدرة على التنبؤ هنا لا تعني إلا شيئا واحدا، هو أن هذه المنظومات لا تخضع للتحديد

الدقيق، وبالتالي فهي تنفلت من النظام الحتمي وبسبب ذلك نقول عنها إنها تبدي نوعا من السلوك العشوائي وتُفضي إلى الفوضى، فالفوضى لا تتراجع أمام النظام، بل بالعكس؛ النظام نفسه يفضي في الكثير من الحالات إلى الفوضى.

كما أن نظرية الفوضى تهتم بـ«دراسة الآثار المترتبة بعيدة المدى لتغير أولي يبدو بسيطا، يتراكم بفعل العلاقات المتبادلة بين كثرة لانهائية من العوامل والمكونات في النظم المركبة»[5]، ومعنى ذلك أنه يمكن لاضطرابات عظيمة الصغر وخارجة عن المنظومة أن تؤثر في المنظومة ككل، وهو ما يعبر عنه بـ**تأثير الفراشة***، فأي منظومة يمكن أن تنتج أشكالاً تتراوح بين البسيطة والأكثر تعقيداً، ومن المنتظمة جداً إلى تلك ذات المظهر العشوائي. ففكرة القواعد البسيطة التي يمكن أن تؤدي إلى سلوك معقد فكرة جوهرية في علم الأنظمة المعقدة، والتي غالباً ما تعرف باسم **نظرية الشواش** أو **علم الشواش**.

لقد سعى علماء الفوضى إلى صياغة معادلات رياضية بسيطة تشرح ظواهر كبرى، فكشفوا ظواهر أظهرت أن حدوث تغيّرات بسيطة في المعطيات الأوليّة التي تتعامل معها تلك المعادلات تفضي إلى نتائج هائلة عند الحساب النهائي، وسمّت نظرية الفوضى تلك الظاهرة "**الاعتماد الحسّاس على المعطيات الأوليّة**"**. والتي سرعان ما اشتهرت باسم أثر جناح الفراشة، كما أشرنا إلى ذلك.

وبالمحصلة، فإن نظرية الفوضى أو علم الكاوس علم يبحث ببساطة في النظم الديناميكية، وهي النظم التي تتغير عوامل بها، فتتغير النتائج طبقا لها[6]، أي إن علم الفوضى – هذا العلم الناشئ حديثا- يتجه إلى دراسة هذه الظواهر لأجل التوصل إلى قوانين تحكم هذه الفوضى.

يرجع نشوء الفوضى كفرع علمي قائم بذاته إلى أبحاث العالم الرياضي الأمريكي **إدوارد لورنتس** (E.Lorentz)[7] في الستينيات من القرن الماضي، الذي عمل راصدا للجو لصالح القوات الجوية الأمريكية.

2- نظرية الفوضى وقانون الانتروبي في الثرموديناميك:

إذن عُمر نظرية الفوضى – عمليا – لم يتجاوز الخمسين -50- سنة، لكن عمرها الحقيقي في واقع الأمر أكبر من ذلك بكثير؛ حيث ارتبط مفهوم الفوضى في القرن التاسع عشر بالقانون الثاني في علم الديناميكا الحرارية، هذا العلم الذي هو أحد فروع الميكانيك الإحصائي، ويدرس خواص انتقال الشكل الحراري للطاقة بشكل خاص وتحولاته إلى أشكال أخرى من الطاقة، ويصوغ هذا العلم قوانينه باستخدام الميكانيك الإحصائي، تلك القوانين التي تحكم انحفاظ الطاقة من شكل إلى شكل, والاتجاه

الذي تفضله الطاقة الحرارية في انتقالها, والطاقة المتاح تحويلها إلى شغل. فعلم الديناميكا الحرارية يهتم إذن بالحرارة أو الطاقة الحرارية بدرجة أخص وبكل الظواهر التي تتعلق بهذه الطاقة: كعملية انتقال الحرارة من جسم لآخر أو كيفية تخزين هذه الطاقة أو توليدها.

حاول الفيزيائيون تكميم الفوضى باستخدام مفهوم **الانتروبي** (Entropie)، فالانتروبيا ارتبطت بالقانون الثاني في علم الديناميكا الحرارية؛ 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 الثرموديناميك الظواهري الذي يعالج الخواص والعمليات الماكروسكوبية المرئية دون الاهتمام بالخواص والعمليات الذرية والجزيئات. ثم نشأ بعد ذلك الثرموديناميك الإحصائي الذي يعتمد على حركة الذرات والجزيئات وتفاعلها[8]. وفي منتصف القرن التاسع عشر تحول علم الحرارة إلى الثرموديناميك كجزء من الفيزياء النظرية، مستقلة عن الميكانيك، وذلك بعد دراسة أساليب قياس كميات الحرارة بصورة منتظمة ومعالجة ظواهر التوصيل الحراري رياضيا.كما طور **كارنو** (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 ماير** (R.Mayer) و**جيمس جول** (J.B.Jolle 1889 – 1818) و**هلمهولتس** (Helmoholtz) في صياغة القانون الأساسي الأول للثرموديناميك. وقام **بولتسمان** بتفسير الكميات القابلة للقياس في الثرموديناميك (درجة الحرارة، الضغط، كمية الحرارة..) بواسطة حركة الدقائق الصغرى للمادة، واعتبار الحرارة طاقة حركية للجزيئات[9]. وتمت صياغة القانون الثاني للثرموديناميك من طرف كل من **وليام طومسون** (W.Thomson) و**رودولف كلاوسيوس** (R.Clausius) هذا الأخير الذي طور مفهوم **الانتروبي** الذي ارتبطت به نظرية الفوضى[10]. وفي الأخير اكتشف **نرفست** القانون الثالث اعتمادا على أبحاث **بلانك وإنشتاين**. ويمكن بسط تلك القوانين على النحو التالي:

القانون الأول: قانون الشغل والطاقة: الطاقة الكلية المحتواة في سيستم معزول مغلق تبقى ثابتة (سيستم يعني نظام أو جملة ثرموديناميكية، أما السيستم المغلق فهو الذي لا يستلم طاقة من الخارج، ولا يسربها إليه)، فان اختفت كمية من نوع الطاقة نشأت نفس الكمية من الطاقة من نوع آخر. وإذا ادخل للسيستم مقدار من الحرارة ΔQ ازدادت الطاقة الداخلية للمقدار ΔU من ناحية، وأنجز السيستم شغلا نحو الخارج ΔW، بحيث أن[11]: $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$، أي أن: الطاقة في النظام =

الشغل المبذول + الطاقة الداخلية، وأن تغير الطاقة في نظام ما يساوي الطاقة الحرارية (المضافة أو المنتزعة) زائد الشغل (المضاف أو المنتزع). فهذا القانون «هو صيغة لمبدأ بقاء الطاقة، وأن أي عملية قد تخرق هذا القانون لا يمكن أن تحدث تلقائيا»[12]، أي أن هذا القانون قام على اكتشاف أن الحرارة شكل من إشكال الطاقة (ميكانيكية، كهربائية،كيمائية..) مع إمكانية أن تتحول إلى بعضها البعض بنسب ثابتة.

القانون الثاني: قانون الانتروبي: الحرارة لا تنتقل بذاتها تلقائيا (دون فعل خارجي) من جسم أبرد إلى جسم أسخن. وبصفة عامة: كل حدث في الطبيعة يجري بحيث ينتقل السيستم (النظام) من حالة اقل احتمالا إلى حالة أكثر احتمالا[13]، ويعني أن تدفق الانتروبية إلى داخل النظام ناقص تدفق الانتروبية إلى خارج النظام زائد الانتروبية 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»[14]، أي أنه لا يمكن أن تحدث العمليات التي قد تنقص فيها الانتروبي لنظام معزول أو في كل عملية يخضع لها نظام معزول، وبالتالي فإنَّ الانتروبي إما تزداد وإما تبقى ثابتة. وهذا القانون إنما يخبرنا بالاتجاه الذي يجري به تحول الطاقة في النظام، ففي النظام المغلق يبقى الانتروبي ثابتا في العمليات الانعكاسية، ويزداد دائما في العمليات اللاانعكاسية، علما 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 اتجاه مفضل لحدوث الأحداث التلقائية، كما لو أن الطبيعة قد أصدرت حكمها الأبدي بألا يكون الزمن انعكاسيا، فالزمن كالسهم يسير في اتجاه واحد فقط. ومن ثم يجب أن تتبع كل العمليات الطبيعية ذلك المسار الذي اختارته الطبيعة لها»[15].

القانون الثالث: نظرية فرنست الحرارية: تجري جميع الأحداث قرب الصفر المطلق دون التغير في

الانتروبي، وعند التقرب من الصفر المطلق يصبح معامل التمدد والحرارة النوعية في الضغط الثابت والحرارة النوعية في الحجم الثابت صفرا[16]، إذن هذا القانون يعالج السلوك الانتروبي؛ مبينا أن الطاقة الداخلية والطاقة الحرة في درجة الحرارة المنخفضة جدا لا تتغير إلا تغيرا ضئيلا...

وباستثناء القانون الثاني، فإن بقية القوانين في الثرموديناميك لم تؤدِ إلى مشاكل، إذ هي تتسق مع أسس الفيزياء النيوتونية. أما القانون الثاني – قانون الانتروبي– فهو «يطبق في مجال أضيق، فهو ذو طابع إحصائي، لذا يطبق فقط على الجمل المؤلفة من عدد كبير من الجسيمات، أي الجمل التي يمكن أن تعبر عن سلوكها قوانين الإحصاء»[17]، أي أن هذا القانون هو أكثرها تعقيدا لأنه يقوم على الإحصاء الاحتمالي[18]، مما يجعله يتناقض مع الفيزياء الكلاسيكية التحديدية ويخبرنا أن النظام في الكون يتجه بقسوة تجاه اللانظام أي الفوضى.

إن الانتروبي هو تعبير عن الفوضى، من حيث أن الظواهر الفيزيائية المختلفة التلقائية لا بد أن يصاحبها زيادة في العشوائية. والعشوائية هي كمية فيزيائية كغيرها من الكميات الأخرى كالوزن والكثافة والطول والسرعة، لها رمز ووحدة قياس، حيث إن رمزها باللاتينية (S)، ووحدة قياسها هي جول/كيفلن.

إذن مصطلح الانتروبي– الذي يمكن ترجمته إلى قابلية التحول – يقصد به قابلية تحول الطاقة، وقد استخدم العالم **كلاوسيوس** هذا التعبير في الثرموديناميك سنة 1865م كمقدار في حالة فيزيائية يعطي درجة اللاانعكاس في العمليات الثرموديناميكية وخاصة تحول الطاقة[19]. إن العمليات التي يمكن أن تحدث تلقائيا في الجمل المعزولة كانتقال الحرارة وانتقال الغاز وامتزاج الغازات.. هي فقط العمليات التي تزداد فيها انتروبيا الجملة. وتستطيع العملية أن تجري تلقائيا حتى الحالة التي تحصل فيها الانتروبيا على القيمة القصوى في هذه الظروف، فانتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم أبرد ترافقه دائما زيادة في الانتروبيا الكلية لهذين الجسمين، وتبلغ هذه الانتروبيا قيمة عظمى عندما تتساوى درجة حرارة الجسمين[20]، وكان مبدأ حفظ أو بقاء الطاقة في 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[21]، فهذه الصورة الاحتمالية وإقحام الإحصاء والاحتمالات في صلب الفيزياء إنما هو هدم للتصور الميكانيكي الحتمي.

يشمل العلم المعاصر قوانين أساسية هي في جوهرها قوانين 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»[22].

إن إمكانية الانتقال التلقائي للحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، وعدم إمكانية سير العملية عكسيا يمكن أن تُفسر على النحو التالي: «إذا وجدت في احد أقسام جملة مؤلفة من جسمين درجة حرارتهما مختلفة، جزيئات تتمتع بطاقة حركية اكبر منها عند جزيئات القسم الآخر، فإنه يجب بنتيجة التصادمات العشوائية التي تحدث بين الجزيئات، أن يتحقق توزع 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. وان تتجمع الجزيئات الأبرد في القسم الآخر» [23]، غير أن هذه العملية غير ممكنة، بل إنها تكاد تكون مستحيلة. فإذا كانت انتروبي نظام ما معزول أو مغلق أكبر ما يمكن، فإن أي تغيير في حالته يعني تناقصًا في الانتروبي وهذا غير ممكن أي أنه لا يمكن أن يحدث أي تغيير في حالة النظام.

إن المشكلة هاهنا لا تتوقف عند حدود شكل انتقال الحرارة، وإنما تنسحب على حركة الكون جميعا، حيث جنح بعض الفيزيائيين إلى إمكان تطبيق الانتروبي أي القانون الثاني للثرموديناميك على الكون كله باعتباره نظاما ثرموديناميكيا متناهيا مغلقا يسعى إلى حالة توازن، فحالة 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. فالكون يتحرك من حالة منظمة وهي اقل احتمالا، إلى حالة استقرار لا انتظام فيها وهي أكثر احتمالا[24]، فالانتروبي 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»[25]، أي أن الموت الحراري للكون هو النقطة التي تتبدد فيها الطاقة في الكون. فوفقاً للقانون الديناميكا الحراري الثاني يتعذر على الطاقة أن تجري من مصدر إلى آخر. ويمكن القول بمعنى آخر أن الانتروبية الكونية ستصل يوما ما إلى الحد الأقصى وستتعادل الطاقة بعدها، وستظل الطاقة موجودة لكنها لا تستطيع أن تُحدث أي تغيير أو حركة أو شغل، بمعنى لا حياة، وسيظل 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 الانتروبيا. وبِفَقْدِ الانتروبيا العظمى فإن كل شكل للطاقة يمكن تحويله إلى حرارة، وبالتالي فإن كل أجزاء الكون ستتوازن حراريا، مما يعني موت الكون حراريا، وهذه النهاية المحتومة 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، بل وفضلا عن ذلك أنها تتبادل الأنباء والمعلومات مع محيطها[26]، فهذه الأنظمة في حالة حركة وتغير عبر الزمن، لذلك فمن الأفضل اعتبارها كمتموجة[27]، إن الطبيعة المتموجة لهذه النظم تؤدي إلى اضطراب النظام المتواجد فيها، وبالتالي نكون أمام حالتين: «إما أن يُدّمر النظام من جراء اتساع التموجات. وإما أن يتم التوصل إلى نظام داخلي جديد، متميز بمستوى أعلى من التنظيم»[28]، 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 الانتروبية 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 المؤلفة من عدد كبير جدا من الجسيمات؛ وذلك لأن قوانين الإحصاء لا تطبق تطبيقا دقيقا إلا على هذه الجمل[29]، فعند دراسة الجملة المؤلفة من عدد غير كبير من الجسيمات، فإن نتائج القانون الثاني لا تنطبق عليها بصورة دقيقة، أي أن هذا القانون لا يسري على الجمل المؤلفة من عدد قليل من الجسيمات. هذا، ولا نستطيع دراسة الجمل المؤلفة من عدد كبير من الجسيمات بقوانين الميكانيك الكلاسيكي، لكن فقط بنظرية الاحتمال يمكن تعيين الاحتمال الأكبر أو الأصغر للحالة المعينة للجملة، حيث أن انحرافات هذه الجمل عن هذه القوانين ضعيفة جدا تكاد تكون

مستحيلة[30]، فالقانون الثاني في الثرموديناميكا يضع المعيار الذي يقاس به الاحتمال الأكبر أو الأصغر لحالات الجمل.

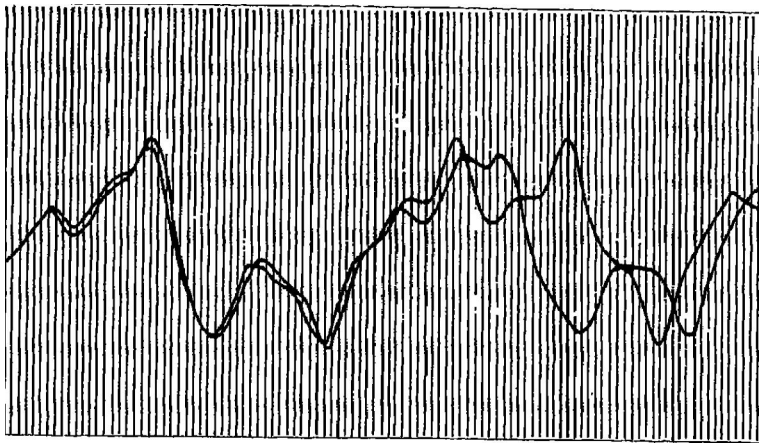
وإذا كان القانون الثاني من الثرموديناميك هو منشأ نظرية الفوضى أو الكاوس، فان الرصد الجوي كان هو الميدان الذي وجدت فيه نظرية الفوضى تطبيقاتها.

3- نظرية الفوضى وعلم الأرصاد:

من البديهي أن تشوب العمل العلمي ثغرات ولو كانت طفيفة؛ ومن تلك الثغرات مثلا أن القياسات المعملية لا يمكن أن تكون أبدا ودائما دقيقة وتامة. ولذلك كانت وجهة نظر العلماء النيوتونيين أنه «إذا ما أعطينا الظروف المبدئية التقريبية لنظام ما، والقوانين التي تحكمه، يمكننا أن نتوصل دائما إلى نتائج تقريبية»[31]، ومعنى ذلك أن هذه الوجهة من النظر تسوّغ التقارب أو التقريب*، وتعتبرهما ليس ذوي تأثير يذكر؛ فليس بوسع أي مؤثر بسيط أو طفيف أن يودي إلى اضطراب في أي نظام من النظم. إن الفيزياء الكلاسيكية لم تكن تهتم بهذه الفروق الطفيفة التي قد تؤدي بعد مدة إلى فروق كبيرة في الشروط المبدئية للتجربة، غير أن **لورنتس**[32] أثبت عكس ذلك.

لقد عمل **لورنتس** على مشكلة التنبؤ بالطقس على الحاسوب من خلال برنامج محاكاة تحول الطقس والتنبؤ به نظريا، ويتألف البرنامج من إثنتي عشرة معادلة لتشكيل الطقس. وقام **لورنتس** ببسط الطقس إلى هياكله الأولية في الحاسوب، ولاحظ أن الطقس يكرر نفسه في أنماط مألوفة على مر الأوقات، غير أن هذا التكرار لا يكون متطابقا أبدا، تتكرر الأنماط فقط مع وجود اختلافات بها. وأراد **لورنتس** التأكد من ذلك عن طريق اختبار مفصل لدورة من دورات الطقس، فوضع الظروف الأولية أو المبدئية التي استخدمها كمدخلات للدورة السابقة في الدورة المُختبرة. فما هي النتيجة؟

كان يفترض أن تكون المخرجات في الدورة الجديدة متطابقة مع الدورة السابقة. **فالورنتس** هو من أدخل البيانات إلى الحاسوب، والبرنامج لم يتغير، لكن تصرف الطقس كان مختلفا بالمرة، إلى درجة انه بعد فترة من الزمن تلاشى التشابه تماما بين الدورتين[33](كما هو مبين في الشكل) ، لكن ما سبب ذلك؟



الشكل يوضح كيف يتباعد نمطان للطقس من نفس النقطة تقريبا، فالطقس الذي بناه لورنتس على الحاسوب يخرج أنماطا تتباعد عن بعضها البعض تدريجيا، حتى يتلاشى أي تماثل بينها.

مصدر الشكل: جيمس كلايك، الهيولية تصنع علما جديدا، ص 30.

أدرك **لورنتس** أن سبب ذلك هو التقريب؛ فالمشكلة كانت في الأرقام التي ادخلها **لورنتس**، فقد كانت الأرقام تخزن في الحاسوب لستة أرقام عشرية (ستة أرقام بعد الفاصلة)، لكنه قربها إلى ثلاثة أرقام فقط، فتقريبا يتناول الرقم ابتداء من الرابع العشري (أي جزء من الألف) يوحي بأن الأثر لن يكون ذا بال بالمرة، لكن الاختلاف الذي كان ضئيلا جدا لا يتعدى جزءا من الألف، تطور مع تسلسل الحساب إلى فروق كبيرة أدت إلى انحرافات في المنظومة ككل[34]. فمن خلال الشكل السابق تبين أن نسبة الاختلاف كانت ضئيلة جدا، لكن أثارها كانت عظيمة إلى درجة تبين أن التنبؤ بالطقس لمدة تزيد عن أكثر من ثلاثة أيام مشكوك في صحته، وإذا زادت عن ذلك فلا يعتد به مطلقا. مما يعني في النهاية انه في بعض المنظومات يمكن أن تؤدي تغيرات طفيفة في الشروط المبدئية إلى نتائج متباينة جدا، مما يجعل التنبؤ في هذه المنظومات لا فائدة تذكر منه، مثل الأنواء الجوية التي هي نظام فوضوي ومعقد وتؤثر فيه عوامل عديدة جدًّا، فيستحيل التنبؤ بالتقلبات الجوية بعد فترة معيّنة بسبب تضاعف التأثيرات والمتغيرات والأخطاء الدقيقة والصغيرة جدًّا، وتضخمها بسرعة كبيرة.

كان الاتجاه يسير نحو حوسبة النظم المعقدة وهو ما يعرف بنمذجة النظم المعقدة حاسوبيا، بحيث «تقوم النماذج الموضوعة بتعامل مع الحاسوب باستخدام عدد من المعادلات التي تحكم الظاهرة المنمذجة من اجل توقع مستقبلي»[35]، وذلك بحساب نسبة التغير في النموذج، ففي حالة الطقس مثلا يتم حساب نسب التغير في درجة الحرارة وسرعة الرياح... فيكون هدف الفيزياء هو 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 المنظومة الكاوسية للشروط المبدئية، يعني أن التنبؤ الدقيق بمستقبل هذه المنظومة مستحيلُ. ويمكن أن نشرح ذلك بتفصيل أكثر:

من المعلوم أن الظواهر- كما بينت الفيزياء الكلاسيكية - تتبع عادة قانون: سبب ⟵ نتيجة، أي خضوع الظواهر لمبدإ الحتمية، الذي يعني في النهاية إمكانية التنبؤ بالظاهرة بناءً على معرفة شروطها المبدئية، وهذا ما نسميه انتظام الظواهر واطرادها. ولكن هذه الظواهر المنتظمة يمكن أن تنقلب إلى ظواهر غير منتظمة وغير متوازنة؛ كما هو الحال بالنسبة لحركة سائل ذي لُزُوجَة، وهو الذي يولد قوة احتكاك عند انسيابه. فالسوائل تتبع قوانين الديناميكا أي قوانين **نيوتن** عندما تنساب بشكل اعتيادي، ولكن عندما تتزايد سرعة الانسياب عن حد معين تتزايد معها قوة الاحتكاك، فتنشأ جراء ذلك دوامات وحركات مضطربة لا تتبع أي قانون. وهذا شيء ملازم لكافة مستويات الوجود، الشيء الذي يستوجب معه التسليم أن الكاوس / الفوضى خاصية ملازمة للطبيعة في كل مستوياتها. وهذا لا يلزم عنه أن الكاوس أو الفوضى من الصفات الجوهرية لنظم الطبيعة، وإنما هي فوضى ناشئة عن العجز على قياس حالتها الأولية بدقة كافية. فنظرية 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.

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

ولما كانت الطاقة المبددة غير قابلة للاسترجاع، جاءت الانتروبيا تعبيرا عن الخاصية اللاانعكاسية للعمليات الحرارية. ولما كان للكون طاقة مبددة وتكون مشتتة، فإن الانتروبيا هي أيضا مقياس للعشوائية، والتي قام **بولتسمان** بتكميمها رياضيا، وهي الصياغة التي تعتمد على أن احتمال العشوائية أي الفوضى هو دائما اكبر من احتمال النظام.

والنتيجة أن القول باللاحتمية أنتج فهما جديدا للظواهر من حيث أن حدوثها لم يعد ضروريا، مما يعني أن «العالم اللاحتمي يستوعب الأنساق الكاوسية ويظل منتظما ومعقولا، تخضع وقائعه للقـــوانين العلمية، لكن في إطار تعاقب الأحداث الاحتمالي وليس الحتمي، فحلّ الترابط الإحصائي محل التـــرابط العلّي الضروري»[36]، وهذا معناه أن الحتمية لم تعد مطلقة وليست كونية شاملة، لأن جميع الأنظمـــة الفيزيائية الماكروسكوبية ليست بالضرورة حتمية مثل الظواهر الكاوسية، حيث توجد صلة بين الحتمية والمصادفة والاحتمال. وهذا كله يعني أن الفوضى- الكاوس أضحت مفتاحا جديدا للمعرفة العلميـــة، تفرض حضورها وتؤكد على وجودها من خلال سلوك غير منتظم لأنظمة غير مســـتقرة.. والقـــول بوجود الفوضى كمقابل للنظام، يعني أن العلم لم يستطع استيعاب الحقيقة كلها، وأن الحقيقة أوسع من أي منهج أو نظرية.

الهوامش:

(*)- نظرية الفوضى تسمى أيضا **نظرية الشواش**، ويطلق عليها كذلك اسم **علم اللامتوقع**، ويترجمها البعض في اللغـــة العربيـــة باســـم الهيولية. أما **الكـــاوس Chaos** فكلمة يونانية لها نفس المدلول: أي الفوضى والعماء.

1. جيمس كلايك، الهيولية تصنع علما جديدا، ترجمة علي يوسف علي، بدون طبعة، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة، 2000، ص 64.

2. Bishop Robert, Downward Causation in Fluid Conviction in Sythese, 2008 ; P. **–248 . 229**

3. المرجع السابق، ص 229.

4. يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، الطبعة الأولى، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 2009، ص 246.

5. المرجع نفسه، ص 247.

*- 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؟**».

**- وذلك لأن المنظومة الكاوسية تتسم بكونها شديدة الحساسية لأي تغير في الشروط الابتدائية، إلى درجة أنه لا يمكن الربط بواســـطة المعادلات الرياضية بين المدخلات والنتائج. ولكنها بدلا من ذلك تتسم بطبيعة خاصة من حيث إعادة تشكيل نفسها بطرق مختلفة كما هو الأمر – على سبيل المثال – في حال الطقس.

6. جيمس كلايك، الهيولية تصنع علما جديدا، مرجع سابق، ص 11.

7. وقبل **لورنتس**، انتبه بعض علماء القرن التاسع عشر والقرن العشرين لبعض الظواهر الكاوسية مثل **جاك أدمار وبيار دوهم**. وقبلهم **ماكسويل** الذي قام بتطبيق الحسابات الإحصائية على جزيئات الغاز ليتوصل إلى فهم وتحليل الآليات المخفية التي تسبب الحركات والصفات الظاهرية للغازات كالحجم والحرارة والضغط. كذا 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**، الذي نشر بحثا 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، ويكفي أن يُخفى عنا عامل صغير لنخفق في تحديد النتائج. كما يمكن أن يكون لسبب صغير جدا 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.

8. محمد عبد اللطيف مطلب، الفلسفة والفيزياء ج2، مرجع سابق، ص 20.

9. المرجع السابق، ص 23.

10. كان الفيزيائي الفرنسي **نيكولاس كارنو** (1797 – 1832) أول من قال بالقانون الثاني سنة 1824، لما درس تدفق الحرارة في المحرك البخاري، لكن هذا القانون ينسب للفيزيائي الألماني **رودولف كلاوسيوس** 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 **انتروبي**، لذلك اعتبر بأنه هو مكتشف هذا القانون.

11. المرجع نفسه، ص 26 – 27.

12. فريدريك. ج. بوش، دافيد. أ. جيرد، أساسيات الفيزياء، ترجمة: سعيد الجزيري ومحمد أمين سليمان، الطبعة الأولى، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، القاهرة، بدون تاريخ، ص 473.

13. المرجع السابق، ص 27.

14. ف. كرييف، الكيمياء الفيزيائية، ترجمة: عيسى مسوح، بدون طبعة، دار مير للطباعة والنشر، موسكو، بدون تاريخ، ص 266.

15. فريدريك. ج. بوش، دافيد. أ. جيرد، أساسيات الفيزياء، مرجع سابق، ص 473.

16. الفلسفة والفيزياء ج2، سلسلة الموسوعة الصغيرة، العدد 163، دائرة الشؤون الثقافية والنشر، بغداد، 1985، ص 29.

17. المرجع نفسه والصفحة.

18. اكتشفت لأول مرة الطبيعة الإحصائية للقانون الثاني في الثرموديناميكا في نهاية القرن التاسع عشر، خاصة مع أعمال العالم **بولتسمان**.

19. المرجع نفسه، ص 30.

20. ف. كرييف، الكيمياء الفيزيائية، مرجع سابق، ص 269.

21. يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، مرجع سابق، ص 122.

22. رودولف كارناب، الأسس الفلسفية للفيزياء، ترجمة السيد نفادي، بدون طبعة، دار الثقافة الجديدة، القاهرة، بدون تاريخ، ص 248.

23. ف. كرييف، الكيمياء الفيزيائية، مرجع سابق، ص 273.

24. الفلسفة والفيزياء ج2، المرجع السابق، 37.

25. المرجع نفسه، ص 32.

26. وهذا ما يمكن أن نسميه بـ**نظرية التشابك** التي هي إحدى تصورات العلم المعاصر: فلقد أظهرت التجارب التي تجرى على الجسيمات الدقيقة دون الذرية بواسطة قوانين ميكانيكا الكم أن هناك ظاهرة في الأجسام الطبيعة تؤثر على هذه الجسيمات، وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة التشابك؛ وفحواها أنه إذا كان أي فوتونين ضوئيين مرتبطين ببعضهما البعض، وناشئين من مصدر واحد، فإنهما يظلان مرتبطين ببعضهما البعض حتى وإن أصبح أحدهما عند جانب المجرة والآخر على الجانب الآخر منها. فإذا تأثر دوران أو استقطاب أحدهما بمؤثر تأثر الفوتون الآخر في نفس اللحظة بشكل محسوب بحسب قوانين ميكانيكا الكم. وهذا يشار إليه على أنه ظاهرة لا محلية، وهو أن الجسيمات على المستوى الكمي يمكن أن تتأثر ببعضها البعض بشكل آني بغض النظر عن وجودها في مكان واحد، أي أن هذا الارتباط لا

سببي بل آنيا. وهو ما يكشف عن ارتباط أو تشابك الجسيمات في بعضها على نحو غير مفهوم سببيا. ولأن هذه النتيجة تعني أن المعلومات تنتقل بين الفوتونين بما يتجاوز سرعة الضوء وهو ما يخترق قوانين النسبية العامة، فإن هذه الظاهرة ليس لها تفسير علمي، وإن كانت ثابتة تجريبيا. ولذلك كان من اللازم افتراض أن هناك ارتباطا كليا مباشرا بين الأجسام دون الذرية. ولأن الأجسام الكبيرة تتكون من الذرات التي تتكون من أجسام دون ذرية، فإنه يجب أن تكون ظاهرة التشابك ظاهرة عامة في الطبيعة. ولكن حتى الآن ورغم وجود عدد كبير من التفسيرات لميكانيكا الكم إلا أن العلم الإنساني لم يصل حتى الآن لتفسير كامل للظواهر المرتبطة بميكانيكا الكم على المستوى دون الذري وعلاقاتها بمستوى الأجسام الطبيعية، ومنها ظاهرة التشابك (نقلا عن سمير أبو زيد: **العلم وشروط النهضة**).

27. منى فياض، العلم في نقد العلم: دراسات في فلسفة العلوم، الطبعة الأولى، دار المنتخب العربي للدراسات والنشر والتوزيع، بيروت، 1995، ص 128.

28. نفس المرجع والصفحة.

29. المرجع السابق، ص 271.

30. المرجع نفسه، ص 272.

31. الفلسفة والفيزياء ج2، مرجع سابق، ص 28.

*– يمكن للمتخصص أن يرجع إلى المعادلات التقريبية في الفيزياء بأكثر تفصيل في كتاب: مبادئ النظرية الكهرومغناطيسية، تأليف ماري أنطوانيت تونلا، سلسلة الكتب العلمية، الصادر عن المركز العربي للإنماء، إشراف: محمد دبس، ص 371 وما بعدها.

32. لا يجب الخلط بين هذا العالم (**ادوارد لورنتس**) وبين العالم الفيزيائي الشهير في بدايات القرن الماضي **هندريك لورنتس** المتوفى عام 1928، والذي قام بحساب معدل تحويلات الطاقة عام 1902، ونال جائزة نوبل في نفس العام.

33. المرجع نفسه، ص 29.

34. المرجع نفسه والصفحة.

35. المرجع نفسه، ص 32.

36. يمنى طريف الخولي، فلسفة العلم في القرن العشرين، مرجع سابق، ص 247.