الباب الثانى

عودة الشواش

بدءاً ذى بدء لابد أن نقر حقيقة أن الحلول التقريبية بطريقة التكرارية لاتعطى دائما حلولا جيدة، وبالأخص لمشكلة حركة ثلاثة أجسام.

الرياضياتيون معتادون على استخدام المتسلسلات التى تضيف أرقاما إلى أرقام إلى أرقام، ولكن لابد أن يكون سلوك هذه الأرقام منضبطا، أى أنها تؤول إلى كمية منتهية، فمثلا بالنسبة للرقم π (ط) وهى النسبة بين محيط وقطر الدائرة يمكن الحصول على قيمة «ط» بأى دقة محددة مسبقا.

فمثلاً بالنسبة للرقم π نحصل على

$$4\,(1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + \ldots\ldots)$$

فى أول تقريب نحصل على الرقم 4 ، وهذا بعيد عن الرقم 3.14 ، فى التقريب الثانى نحصل على 2.6666 وهى أفضل قليلا وأقل من القيمة الحقيقية، وفى التقريب الثالث نحصل على 3.46666 ، وهكذا مع كل تقريب نقترب من القيمة الفعلية، ولكنها عملية مجهدة بجمع ملايين الأرقام لنحصل على القيمة 3.1415937 .

ولكن ليس كل هذه المتسلسلات تتقارب وتؤول إلى قيمة معينة، فمثلا بجمع الأرقام :

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + \ldots\ldots\ldots$$

لا تتقارب وبالتالى لا تعطى قيمة محددة وإنما تؤول إلى مالانهاية.

أيضا ومن المدهش أن المتسلسلة

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \ldots\ldots$$

أيضا لا تتقارب وتؤول إلى مالا نهاية.

أيضا المتسلسلة

$$1 - 2 + 3 - 4 + 5$$

تتذبذب ولا تنتهى إلى قيمة واحدة بل تعطى القيم ..... 2.3 – 1.2 – 1,

كذلك يمكن النظر إلى المتسلسلة العامة التالية:

$$x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \ldots\ldots$$

هذه المتسلسلات معروفة منذ نيوتن وقد استخدمها لحل المسائل، والتى قادته لوضع أسس التفاضل والتكامل.

أهم جانب فى هذا الموضوع أنه يستحيل مسبقا التنبؤ بأن المتسلسلة سوف تتقارب أم لا، الأصعب من ذلك أنه أيضا يستحيل التنبؤ بأن الخطوة التالية يمكن أن تعطى إجابة غريبة وبعيدة جدا عما هو متوقع. واجهت هذه المشكلة كل علماء الفلك الذين كانوا يحاولون حساب المدارات التى تدور فيها الكواكب فى المجموعة الشمسية وذلك فى منتصف القرن التاسع عشر، لم يقلق كل ذلك الفلكيين ولكنه أقلق علماء الرياضيات، وحيث إن المجموعة الشمسية مستقرة كانوا يودون إثبات ذلك.

فى عام ١٨٥٨م أخبر العالم الألمانى ديريخليه (Dirichlet) تلميذه كرونكر (Kronecker) أنه توصل إلى طريقة لحل نظام من المعادلات التفاضلية الخاصة بحساب أفلاك المجموعة الشمسية، أن المتسلسلات المستخدمة متقاربة، ولكن للأسف تُوفى فى العام التالى قبل أن يفضح عن تفاصيل هذا العمل.

فى الثمانينيات من القرن التاسع عشر أُعلن فى ستوكهولم بالسويد عن جائزة مالية لمن يقدم حلا لأى من أربع معضلات رياضية، كانت إحداها معضلة ديرخليه والتى تلخصت فى إثبات أن المجموعة الشمسية مستقرة . تقدم هنرى بوانكاريه بالحل ووضع طريقة مازالت تستخدم حتى الآن فى دراسة النظم الديناميكية. لقد أدخل عالم الرياضيات الأيرلندى وليام هاملتون (William Hamilton) (١٨٠٦ – ١٨٦٥م) مفهوم الفراغ الطورى (Phase space) ، استخدم هاملتون مفهومى الوضع وكمية الحركة لدراسة تفاعلات الأجسام.

إن معنى الفراغ الطُورى قريب من لوحات الإعلان فى البورصة وغيرها. بالنسبة لدراسة الميكانيكا وحركة الأجسام بدلا من التعبير عن موضع جسم متحرك بفراغ ثلاثى الأبعاد ثم بفراغ آخر يبين السرعة فى الاتجاهات الثلاث (z, y, x) يمكن استخدام فراغ تخيلى سداسى الأبعاد بحيث تعطى كل نقطة موضع وسرعة الجسم معا. أما إذا تعاملنا مع جسمين فيلزم لهذا فراغ من اثنى عشر بعدا. إذا أردنا وصف سلوك جزيئات غاز فى صندوق سوف نحتاج إلى عدد من الأبعاد ست أضعاف عدد الجزيئات، وهو رقم كبير جدا كما رأينا.

يمكن النظر إلى الفراغ الطورى على أنه قطعة على سطح الأرض تحوى وديانا حفرا عميقة وتلالاوجبالا. إن مؤثر هاميلتون (الهاميلتونيان) (Hamiltonian) يمكن الرياضياتيين من متابعة النظام وسلوكه مع مرور الوقت دون اللجوء إلى حل كل المعادلات كل على حدة. إذا تصورنا أننا سكبنا ماءً فى هذا الفراغ الطورى فسوف ينساب الماء فى الوديان ويتجمع فى الحفر العميقة، وينساب بسرعة من رءوس الجبال والتلال. كذلك يبين الهاميلتونيان كيف ينجذب النظام نحو الوديان والحفر العميقة. من المهم هنا أنه فى هذا الفراغ الطورى يدل سلوك جسيم واحد على سلوك كل الجسيمات، فمثلا جزىء الماء فى نهر سوف يظل بين شاطئ النهر ومن غير المعقول أنه سوف يتسلق جبلا فى طريقه.

إذا عدنا إلى مثال بسيط وهو البندول الخيطى وأخذنا المحور الأفقى ليمثل الموضع والمحور الرأسى ليمثل السرعة، نجد أن المسار هو قطع ناقص، أما إذا أدخلنا الاحتكاك فسوف تقل السرعة وتقل الإزاحة، وهكذا نحصل على مسار حلزونى لينتهى عند نقطة الأصل، وهى «الجاذب» فى هذه الحالة لمثل هذا النظام المعين.

إن النظر إلى الفراغ الطورى على صورة وديان وجبال هو صور مبسطة من فرع الرياضيات المسمى بالتوبولوجيا (Topology) - والذى كان بوانكاريه رائده والذى حاول استخدامه لإثبات استقرار المجموعة الشمسية، لقد حول المسألة من مسألة ميكانيكية وديناميكية إلى مسألة هندسية .

جانب أساسى فى هذه المعالجة أنه إذا مرت النقطة فى الفراغ الطورى بنفس المكان مرة أخرى، يعنى ذلك أن النظام سوف يعود لوضع البداية ويتكرر ذلك دائما مما يعنى أن النظام مستقر، وهكذا إذا مرت النقطة قريبا من الموضع السابق الذى مرت به فليس من المحتمل أية أمور غير متوقعة، أى أن النظام مستقر إلى حد كبير. بالنسبة لثلاثة أجسام يعنى ذلك أن الأجسام الثلاثة لن تتطاير بعيدا عن بعضها البعض ولن تتصادم، ولكن نؤكد مرة أخرى .. من يدرى؟

ما قدمه بوانكاريه للمسابقة لم يكن حلا توبولوجيا للنظام الشمسى ولكن كان تركيزه على العرض الهندسى لمسارات فى الفراغ الطورى لجسمين متجاذبين، وهذه مسألة معروفة يمثَّل مسارها بمنحنى مغلق فى الفراغ الطورى، مما يعنى استقرارها ولكن بإضافة جسم ثالث فى «نظام ثلاثى محدود» أى عندما يكون الجسم الثالث صغيرا يتأثر بجاذبية الجسمين الأولين ولا يؤثر فيهما، ولذا يسمى «بالجسم الغبارى». حتى فى هذه الحالة لا يمكن حل المعادلات الرياضية المعالجة لمثل هذه الحالة

بشكل تحليلى (Analytical) ، لأنه حتى الجسم الغبارى لابد أن يكون له تأثير جاذبى على الجسمين الآخرين.

هنا أدخل بوانكاريه فرضية مبسّطة، وهى أن ننظر إلى مقطع عرضى فى الفراغ الطورى والمعروف الآن باسم «مقطع بوانكاريه» وننظر فقط إلى قطعة صغيرة من هذا الفراغ الطورى حيث يظهر المسار الذى سوف يتبعه النظام.

والآن لا يهمنا – مهما كان معقدا تقاطع المسار – ماذا كان النظام يعود إلى نقاط سبق أن مر بها، فى هذه الحالة يكون المسار دوريا، وهذا هو أهم استنتاج. كان على بوانكاريه أن يحل المسألة بشكل تقليدى حتى يوضح أفكاره ثم ينتقل إلى الأمور الجديدة التى توصل إليها، وهى أنه ليس كل المتسلسلات متقاربة وإنما بعضها فقط يمكن أن يكون متقاربا. لقد احتاج كل هذا إلى حوالى مائتى صفحة، وكان معظمه جديدا جدا على المحكمين للجائزة، وتسلّم بوانكاريه الجائزة فى ٢١ يناير ١٨٨٩م.

من الطريف أنه عندما نشر بوانكاريه هذه الأعمال وأخذ الرياضيايتون وقتا كافيا لدراستها وجدوا خطأ فى برهان بوانكاريه، وانكب هو لإصلاح هذا الخطأ، ومن الطريف أيضا أنه وجد أن الحلول من ناحية المبدأ غير مستقرة، وإنما الحلول المستقرة هى التى تعتبر شاذة، وجد بوانكاريه أيضا أن بعض المسارات تمر بنقاط غير التى مرت بها ولكنها دورية ولكن لا تعود لنفس النقاط السابقة.

كان من الأنباء السعيدة أن حلول بوانكاريه تعطى حلولا مستقرة لحركة ثلاثة أجسام حتى وإن لم تكن مساراتها دورية تماما، ولكن لمدد طويلة جدا بمقياس الزمن البشرى، أو مقارنة بعمر الشمس نفسها.

جانب أساسى آخر: أن بوانكاريه توصل إلى أنه فى بعض الظروف (ليس كل الظروف، ولكن فى نفس الوقت فى ظروف ليست نادرة) أن بعض النظم التى تبدأ من نفس الظروف الابتدائية يمكن أن تتطور وبسرعة كبيرة فى اتجاهات متباينة، ورغم أن بوانكارية لم يصغ هذه الأمور بهذا الشكل ولكنه فى الواقع وضع أساسيات الشواش.

يمكن أن نتحسس ذلك بطريقتين: الأولى تعود بنا إلى التناظر بين الفراغ الطورى وقطعة الأرض التى ينساب الماء عبرها، إن مسار جسيم واحد يعبر عن مسار النظام بأكمله، سواء كان بسيطا مثل حركة ثلاثة أجسام محدودة أو الكون بأكمله. لنتصور نهرا ينساب ثم يتفرع إلى عدة فروع ويكون دلتا مثل نهر الجانج، إذا انساب جزىء من الماء دخل فرعا من الفروع فيمكن لجزىء آخر أن يذهب إلى فرع آخر

وبالتالى نجد أن الجزيئين انتهيا إلى حالتين مختلفتين تماما. فى مثال آخر لنتصور أن قطرة ماء تسقط على حرف حاد من جبل لتنساب عبر مجرى إلى المحيط والذى يمثل «جاذبا» لهذا النظام - أما قطرة أخرى يمكن أن تسقط فى جانب آخر من الجبل وتنساب إلى محيط آخر ويمثل أيضا «جاذبا» لهذا النظام، ورغم تباعد الحالتين النهائيتين للقطرتين، لكنهما بدأتا من وضعين متقاربين تماما.

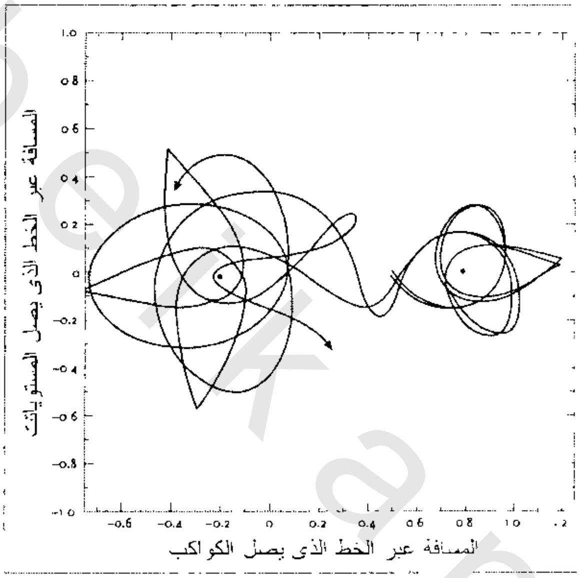
مثال آخر من الحياة - لقد تعودنا على العلاقات الخطية، فمثلا، إذا كانت خطوة شخص هى متر واحد، عندئذ إذا خطا هذا الشخص خطوة واحدة يقطع مترا، خطوتين مترين، وهكذا عشر خطوات تناظر عشرة أمتار. ولكن لنفرض أن جسما يتحرك بحيث يقطع فى كل خطوة ضعف الخطوة السابقة، فهذا يعنى أنه فى الخطوة الثانية يقطع مترين، فى الثالثة أربعة أمتار، وفى الخطوة الحادية عشرة يقطع ١٠٢٤ مترا، أى تزيد بمتر عن كل المسافات المقطوعة فى العشر خطوات السابقة، وهكذا نرى أن الأشياء غير الخطية تتغير بسرعة كبيرة جدا. لقد لاحظ بوانكارية أن بعض النظم حساسة جدا للتغيرات الطفيفة فى الحالات الابتدائية لها، تكمن الفكرة هنا أنه فى النظم الخطية يكون النظام مساويا لمجموع الأجزاء المكونة له، ولكن فى النظم اللاخطية يكون النظام إما أكبر بكثير أو أقل بكثير من مجموع أجزائه.

المشكلة هنا أنه فى النظم اللاخطية يصعب التنبؤ بسلوكها، فأى خطأٍ بسيط فى تقدير الحالة الابتدائية يؤدى إلى خطأٍ كبير جدا فى الحالة النهائية. فى عمله المنشور فى عام ١٩٠٨م المسمى «بالعلم والطرق العلمية» أشار بوانكاريه إلى مشكلة الأجسام الثلاثة المحددة كما هو مبين فى شكل ٢-١. فى نفس العمل أشار إلى صعوبة التنبؤ بالطقس وكيف أنه يلزم الناس أن تصلى لجلب المطر أو حتى الطقس الجيد ولكنهم لا يصلون من أجل كسوف مثلا؟،كل هذا ناتج عن أن خطأً طفيفا فى تقدير درجة (الرياح العاتية) السيكلون يترك الفرصة للأماكن المحظوظة التى تسلم من تدميره والأخرى غير المحظوظة التى يدمرها. كل هذا نتيجة اختلاف فى جزء من الدرجة، التى لو عرفها مسئولو الطقس لتمكنوا من إصدار تنبؤات أفضل للطقس.

لقد سبق بوانكاريه عصره بكثير، كذلك كان عالم الطقس الإنجليزى لويس فرى رتشاردسون فى العشرينيات من القرن العشرين ولكن كانت تنقصه أدوات الإنجاز فى ذلك الوقت وهى الآلات الحاسبة السريعة.

ولد رتشاردسون فى عام ١٨٨١م وتوفى فى عام ١٩٥٣م وعمل مديرا لمحطة أرصاد فى سكوتلندا إبان الحرب العالمية الأولى. كان يعمل أثناء الحرب سائقا لسيارة إسعاف، وفى وقت فراغه كان يحاول أن يحسب تغيرات الطقس لمدة ٦ ساعات إذا

علم ظروف الطقس فى ساعة ما. كان العمل شاقا ومضنيا ولكن الجانب المهم أنه حاول أن يثبت أن الحسابات الرياضية التقريبية مع قوانين الفيزياء يمكن أن تؤدى إلى تنبؤ بالطقس. لقد سبقه بحقبة فى هذا المجال النرويجى ويلهلم بيركنز (Wilhelm Bierkens) . لقد آمن بيركنز أن المعادلات الرياضية المتاحة كافية لاجراء تنبؤات الطقس إذا عرفنا الحالات الابتدائية بدقة كافية.



شكل (٢-١) بالنسبة لمشكلة ثلاثة أجسام - إذا كان قمر صناعى صغير يدور حول كوكبين كبيرين، يؤدى تغير ضئيل فى مسار القمر إلى تغير كبير جدا فى مداره، وحيث أننا لا نستطيع أن نعرف الشروط الابتدائية بدقة، يعنى هذا أننا لا نستطيع التنبؤ بمداره. نبين فى الرسم مسار القمر مع ثبات وضع الكوكبين الكبيرين.

تنبنى فكرة التنبؤ بالطقس حسب هذه الطريقة التى مازالت هى عماد طرق التنبؤ الحالية، فى قياس الخواص الهامة للهواء الجوى مثل درجة الحرارة والضغط عند نقاط شبكية على سطح الأرض وإلى أعلى فى الغلاف الجوى. كلما كانت هذه النقاط متقاربة كلما كان النموذج الرياضى أكثر دقة. بعد ذلك نطبق قوانين الفيزياء لكى نحسب كيف ستتغير هذه الخواص عند كل نقطة تحت تأثير النقاط المجاورة (حيث تنساب الحرارة من النقاط الأسخن إلى النقاط الباردة) وتتحرك الرياح من مناطق الضغوط العالية إلى مناطق الضغوط المنخفضة، وتبدأ تيارات الحمل وهكذا نفس الطريقة التى تستخدم لحساب مدارات ثلاثة أجسام متجاذبة، أى خطوة خطوة، وكلما صغرت الخطوة كانت الحسابات أدق وهكذا. حساب الخواص الفيزيائية فى الحيز بين نقاط الشبكة هو عبارة عن متوسطات القيم عند نقاط الشبكة نفسها. رغم أن نتائج رتشاردسون كانت غير دقيقة بالمرة، ولكن لمْ يزعجه هذا، حيث إنه كان

يستخدم معلومات غير دقيقة ونقاط الشبكة متباعدة جدا. كان المهم إثبات أن الطريقة صحيحة وتصلح فعلا للتنبؤ بتغيرات الطقس.

لقد كان رتشاردسون متحمسا بدرجة أنه بدأ فى وضع كتاب أسماه «تنبؤات الطقس باستخدام الطرق العددية». لقد انطمرت النسخة الأصلية من الكتاب أثناء الحرب ولكن وجدت بعد ذلك بعدة أشهر تحت كومة من الفحم، ثم نشر هذا الكتاب فى عام ١٩٢٢م بعد أن أكمله رتشاردسون.

من الطريف أن رتشاردسون وضع تصورا لكيفية إجراء هذه الحسابات باستخدام ٦٤٠٠٠ شخص يستخدمون آلات حاسبة بدائية ويتصلون بعضهم بالبعض بواسطة ومضات ضوئية أو أنابيب هوائية ... وقد كتب الآتى: «ربما فى يوم ما فى المستقبل البعيد عندما تتقدم طرق الحسابات بأسرع من التقدم فى الطقس بحيث تكون التكلفة أقل من الوفر بالنسبة للبشرية نظراً لأهمية المعلومات التى يتم الحصول عليها. لكن كل هذا حلم، مجرد حلم».

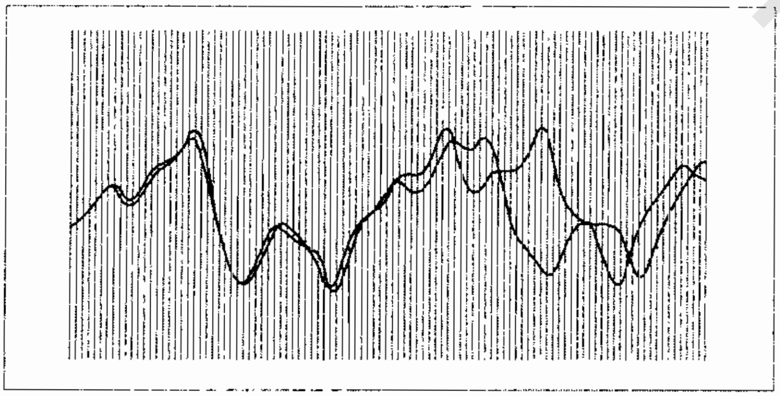
لقد تحقق الحلم قبل أن يتوفى رتشاردسون بثلاثين عاما، وأمكن إنجاز ما حلم به رتشاردسون بآلة واحدة وليس ٦٤,٠٠٠ آلة. لقد تحقق أول تنبؤ ناجح للطقس بواسطة الحاسبات فى عام ١٩٥٠م. مع كل هذا النجاح الذى غمر القلوب بالنسبة للتنبؤات الجوية، فى عام ١٩٥٩م ظهر عالم شاب فى الثانى والثلاثين من عمره، عالم رياضيات وخبير أرصاد فى معهد ماساتشوستس للتقانة واسمه إدوارد لورنتس، فقد كان كل خبراء الأرصاد يستخدمون نظما من المعادلات الخطية، واستطاع لورنتس أن يبنى نظام محاكاة على آلة حاسبة (بدائية بالطبع؛ نظرا لذاكرتها الصغيرة جدا – حوالى ٤ كيلو بايت – أقل من شريحة فى ساعة رقمية فى الوقت الحالى)، ولكنه استطاع عند إجراء المحاكاة مع كل البساطة التى تميز بها الحاسب الذى استخدمه وبدون شاشة عرض – كل ما حصل عليه هو مجموعة أرقام والتى كانت مقربة إلى ثلاث خانات بعد العلامة العشرية لكى يستطيع أن يطبع ١٢ رقم على نفس السطر. مع ذلك استطاع أن يجرى محاكاة لتغيرات الطقس خلال يوم فى دقيقة واحدة، واستطاع لورنتس أيضا ببرنامج من وضعه أن يرسم نقاطا على ورق الطباعة بحيث عندما يوصل النقاط بيده يحصل على منحنى يبين تغيرات سرعة واتجاه الرياح وغيرها، وهنا حدثت مفارقة.

فكر لورنتس أن تمتد حساباته على النموذج المستخدم لفترة أطول، وبدلا من أن ينتظر حتى تعيد الآلة كل الحسابات، أضاف إلى البرنامج أمرا بحيث تبدأ الآلة الحاسبات من نقطة معينة شدت انتباهه، وذهب ليشرب فنجانا من القهوة، وغاب لمدة ساعة وعاد، ولدهشته وجد أن النتائج تتباعد وبشكل ملحوظ وواضح – فى البداية

ظن أن الآلة بها عطب ما، ولكن مع إعادة الحسابات حصل على نفس النتائج؛ ولاحظ تباعد النتائج التى أوضحت تحولا خطيا بشكل كبير.

أدرك لورنتس وقتها ولحظيا ما حدث -- إن الأرقام التى قام بطباعتها مقربة لثلاثة أرقام عشرية، ولكن داخل الحاسب تتم الحسابات مع أرقام ذات ست خانات عشرية، فمثلا عندما يطبع لورنتس الرقم 0.506 ، يكون داخل الآلة مثلا 0.506129 . لقد كانت حساسية النموذج عالية بالنسبة للشروط الابتدائية، لدرجة أن فارقا قدره ربع عشر واحد بالمائة جعل دورتين من الحسابات تتباعد عن بعضها البعض بعد فترة قصيرة نسبيا. وهكذا أحس لورنتس أنه إذا كان الهواء الجوى حساسا بهذه الدرجة فلابد من الاقتناع بأن استخدام هذه الطرق العددية فى تنبؤات الجو تصلح فقط للتنبؤ بالطقس لعدة أيام معدودة. أعلن لورنتس عن نتائجه هذه فى مؤتمر متواضع فى طوكيو فى ١٩٦٠م ولم يتنبه أحد إلى خطورة وأهمية هذه النتائج إلا بعد مرور فترة طويلة.

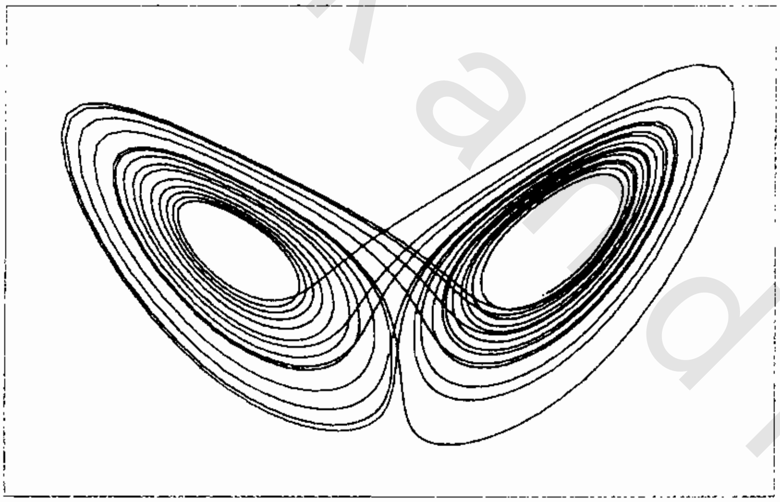
يمكن أن نضرب مثلا بتصور عن الفراغ الطورى على هيئة حوضين عميقين بينهما حاجز رملى عليه طبقة ضحلة من الماء تصل الحوضين أحدهما بالآخر، فى هذه الحالة سوف تكون المسارات فى الفراغ الطورى عبارة عن مسارات دائرية فى أحد الحوضين، وبعض المسارات النادرة سوف تعبر الحاجز الرملى من أحد الحوضين للآخر، وتظل تدور وتدور إلى أن تعبر مرة أخرى الحاجز الرملى، وتعود للحوض الذى بدأت منه. فإذا لم نعرف بالضبط الحالات الابتدائية للمسارات فستظل المسارات تتجول بين الحوضين بشكل عشوائى.



شكل (٢-٢) مثلها مثل مدار قمر فى مسألة حركة ثلاثة أجسام، وجد لورنتس أن تنبؤات الحاسب لتقلبات الطقس (مثل درجة الحرارة) تتباعد بوحشية رغم أنها كلها تبدأ من بداية واحدة.

تبعا لذلك فإن حدود تنبؤات الطقس لكى تكون دقيقة فلن تزيد عن عشرة إلى أربعة عشر يوما، بالإضافة إلى هذا يمكن أن يتقلب الطقس من حالة مستقرة إلى حالة أخر مستقرة بشكل لا يمكن توقعه بالضرورة.

إن مسألة تحديد الشروط الابتدائية بدقة هى النقطة التى جذب إليها لورنتس الانتباه. تسمى أحيانا الحساسية الفائقة للأحوال الابتدائية بظاهرة الفراشة» والذى سك هذا التعبير لورنتس فى مؤتمر فى واشنطن عام ١٩٧٢م حيث قال «هل رفرفةجناح فراشة فى البرازيل يمكن أن تؤدى إلى تورنادو فى تكساس؟» طبعا فى الواقع هناك العديد من التغيرات والعوامل التى تجعل هذا القول غير صحيح وغير ممكن ولكنها بلاغة تقرب إلى الذهن حساسية النظم اللاخطية للأحوال الابتدائية. من الطريف أنه عندما نرسم صورة على شاشة حاسب مثلا للجاذب ذى الحوضين فإنه يكون على شكل فراشة كما فى شكل ٢-٣ . أصبح هذا الشكل كلاسيكيا معروفا لدى الجميع بأنه الشواش، وإن كان الشخص لا يعرف ما هو مرسوم بالضبط.



شكل (٢-٣) جاذب لورنتس (الفراشة)

إن الطقس يكون أكثر شواشية فى بعض الأحيان ومستقرا فى أحيان أخرى. لذا يلجأ خبراء الطقس فى إجراء الحسابات عدة مرات مع تغيير بسيط فى الشروط الابتدائية – عندئذ إذا كانت النتائج متقاربة يكون الطقس مستقرا وتنشر التنبؤات مع ثقة عالية، أما إذا كانت النتائج متباعدة، يعنى ذلك أن الطقس غير مستقر والتنبؤات غير واثقة . من الطريف أن أحد خبراء الطقس يضع هذه الحقيقة على الصورة الفكاهية التالية «إننا نستطيع أن نتنبأ بالطقس بدقة إذا لم يتغير الطقس بشكل غير متوقع».

يمكنك أن ترى الشواش على حاسبك الجيبى: خذ التعبير $(2x^2-1)$ اختر × بين الصفر والواحد، مع عدة خانات عشرية – مثلا 0.2468 . إحسب النتيجة . خذ النتيجة واعتبرها قيمة × وأدخلها مرة أخرى واحسب النتيجة ثانية، سوف تحصل على مجموعة أرقام عشوائية رغم أن طريقة الحساب محددة تماما، وتخضع لقاعدة بسيطة جدا. والآن ابدأ مرة أخرى، لكن خذ رقما ذا أربع خانات عشرية ، ليكن 0.2469 ، وكرر الحسابات (يمكنك أن تضع برنامجا بسيطا على حاسب صغير ليؤدى نفس الغرض) سوف تحصل على مجموعة مختلفة تماما من الأرقام العشوائية بعد عدد ضئيل من العمليات التكرارية (iterations) – هذا بالضبط ما قام به لورنتس. الطريف أنك إذا استخدمت آلة حاسبة مختلفة، سوف تحصل على نتائج مختلفة لأن الآلات المختلفة تجرى بداخلها عمليات تقريب مختلفة.

لنأخذ مثالا آخر – لنأخذ العلاقة $(x^2 -1)$ ونجرى نفس الحسابات بنفس الطريقة، نحصل على مجموعة من الأرقام تتذبذب بين الصفر و (–١) . فى هذه الحالة يقال إن المجموعة دورية بدورة قدرها 2 ، حيث إن الأرقام تتكرر كل خطوتين – أى يعود النظام إلى قيمته الابتدائية . بالنسبة لنظم أخرى يكون عدد الخطوات مختلفا ولكنه ثابت لكل مجموعة، حيث تعود النتيجة لنفس القيمة الابتدائية. وهكذا نرى أن بعض القواعد البسيطة تؤدى إلى سلوك دورى وتتقارب من «جاذب»، ولكن قاعدة أخرى بسيطة تبدو شبيهة بالقاعدة الأولى، لكنها تفضى إلى نتيجة عشوائية حساسة جدا للتغيرات الطفيفة فى الحالات الابتدائية، مثل هذه النظم توجد فى كل مناحى الحياة من تساقط نقاط المياة من صنبور، إلى التغيرات الكبيرة فى أعداد وتجمعات الحيوانات المتوحشة أو تقلبات البورصة، من هنا نرى كيف أنه بدءاً ببساطة يظهر الشواش والتعقيد، قواعد بسيطة، لاخطية وحساسية للشروط الابتدائية تجعل نبض الحياة مستمرا.

قبل أن ننتقل إلى نظم أكثر تعقيدا، سوف نحاول أن ننهى موضوع مدارات الكواكب، حيث كانت بداية كل هذا:

لقد أثبت بوانكارية أن المجموعة الشمسية هى بالضرورة منظومة شواشية، ولكن الأرض مثلا مستقرة تماما فى مدارها ولمدة طويلة جدا، وإلا لم نكن نحن هنا نتعجب من مثل هذه الأمور.

تتكون المجموعة الشمسية من جسمين كبيرين وهما الشمس والمشترى ومجموعة كبيرة من الأجسام الصغيرة نسبيا، وآلاف آلاف الأجسام الصخرية الصغيرة جدا تعرف بالكويكبات والتى تدور فى حزام حول الشمس بين مدارى المريخ والمشترى.

تنقسم المجموعة الشمسية إلى مجموعتين يفصلهما هذا الحزام الكويكبى. تتكون المجموعة الأقرب للشمس من كواكب صخرية صغيرة هى: عطارد، الزهرة، الأرض والمريخ ، أما المجموعة الأبعد هى: المشترى، زحل، أورانوس ونبتون. السبب فى هذا التقسيم هو أنه عند تكُّون هذه الكواكب، أبعدت حرارة الشمس الفتية المادة الغازية بعيدا عن مركز المجموعة الشمسية. أمابعيدا عن حرارة الشمس فإن الغازات تكثفت على شكل هذه الكواكب الأربعة العملاقة. ولكن مازال تكون حزام الكويكبات لغزا حتى اليوم. إن النمذجة الحاسوبية والدراسات الأخرى تبين أن الأقراص الغبارية تتجمع وتكون حبيبات غبار تتجمع بدورها وتتكون حبيبات أكبر ثم قطع صخرية وهكذا، لكن فى المنطقة بين المريخ والمشترى أدت جاذبية المشترى إلى اضطراب فى هذه العملية قبل أن تكتمل ومنعت تكون كوكب كبير. تظهر النمذجة الحديثة أنه قبل أن ينمو المشترى إلى حجمه تكونت ستة أو سبعة كواكب مثل زحل (كتلته عشر كتلة الأرض) ولكن تحت تأثير الجاذبية الضخمة للمشترى تصادمت هذه الكواكب وبعنف بحيث تكوّن حزام الكويكبات تاركة كوكب زحل ينجو بمفرده.

فى السبعينيات من القرن العشرين بدأ طالب الدكتوراه فى معهد كاليفورنيا للتقانة واسمه جاك وزدم (Jack Wisdom) فى دراسة مدارات هذه الكويكبات باستخدام طريقة مطورة فى الحسابات وأفضل حاسب متاح فى ذلك الوقت. مع ظهور النتائج اتضح أن مدارات هذه الكويكبات داخل الحزام المذكور ليست موزعة بشكل متجانس، وإنما هناك فراغات بين هذه المدارات، تسمى هذه المناطق الفارغة بفواصل كيركوود (Kirkwood) . لقد وجد كيركوود أن هذه الفواصل ما يسمى «مناطق رنين» بمدار المشترى نفسه. ولكن قبل تجارب وزدم لم يكن واضحا لماذا تظل هذه الفواصل فارغة.

إن الرنين مثلا لأرجوحة هو رد فعل كبير، عندما تتأرجح لمسافة كبيرة نتيجة دفع بسيط ولكن فى توقيت صحيح . هنا يقوم المشترى بدفع الكويكبات ويعطيها هذا الدفع كل مرة تقترب منه خلال حركتها بين المشترى والشمس.

بالنسبة لمعظم المدارات تكون هذه الدفعات صغيرة وفى أوقات مختلفة، بحيث يكون التأثير النهائى ضعيفا. لنفرض أن كويكبا يدور حول الشمس ويتخذ مدارا يساوى بالضبط ضعف مدار المشترى نفسه. عندئذ يأخذ الكويكب دفعة من المشترى فى نفس الجزء من مداره، وفى هذه الحالة يندفع الكويكب بعيداً عن المشترى. لم يكن هذا ذا قيمة كبيرة إذا حدثت دفعة ثم يعود الكويكب إلى مداره مرة أخرى مثلما يحدث مع المشترى نفسه وزحل كما قال لابلاس . ولكن إذا كان المدار

حساسا لكل هذه الاضطرابات فسوف يدفع هذا الرنين بمدار الكويكب من مدار دائرى مثلا إلى مدار على شكل قطع ناقص حول الشمس، ثم يعود إلى نفس نقطة الرنين حول المشترى هذا هو ما توصل إليه وزدم ونشره فى عام ١٩٨٢م. هنا نرى الشواش فاعلا فى حزام الكويكبات، خاصة للمدارات ١-٣ من المدارات الرنينية حول المشترى.

لا يمثل كل هذا حلا لهذا اللغز؛ لأن الشواش كما يعمل على دفع الكويكبات يمكن أن يعمل على جذبها فى الاتجاه الآخر، وخاصة أن بعض الكويكبات تأخذ مسارات تتقاطع أحيانا مع مدارات الكواكب الداخلية فى المجموعة الشمسية، حتى أنها تتصادم مع بعض هذه الكواكب بما فيها الأرض.

وفعلا لوحظت بعض الندبات على أسطح هذه الكواكب حتى أن هناك اعتقاد بأن أحد هذه الكويكبات اصطدم بالأرض منذ ٦٥ مليون سنة وأدى لانقراض الديناصورات وظهور الثدييات بما فيها نحن البشر، يعنى هذا أننا مدينون للشواشى فى حزام الكويكبات بوجودنا نحن على الأرض، ويعنى هذا أن نهاية كل هذه الحضارة يمكن أن تنتهى بنفس الطريقة.

ربما يعطينا الإحساس بالراحة عندما نعلم أن نهاية الحياة على الأرض لن تأتى من انحراف مدار الأرض بحيث تندفع للاقتراب من الشمس أو فى عمق الفضاء الكونى السحيق عبر السنين، منذ عام ١٩٨٢م وعلماء الرياضيات والمبرمجون يطورون البرامج السريعة لآلات حاسبة أسرع وأسرع لكى يتنبئوا بمستقبل أو السيناريوهات المحتملة لمستقبل المجموعة الشمسية، بل ويسكون مسميات طريفة لمشروعاتهم منها مثلا: «الوقفة الطويلة» LONG – STOP (Long-term Gravitational Study of Outer Planets) ومشروع (Digital Orvery) وأوريرى تعنى نموذجا ميكانيكيا (كالساعة) للمجموعة الشمسية. بعض هذه المشاريع تأخذنا إلى مئات الملايين من السنين فى المستقبل. كل هذه البرامج تؤكد أنه رغم كون مدارات كواكب المجموعة الشمسية شواشية وخلافا لمدارات الكويكبات فى فراغات كيركود، فإنه لن يحدث اضطراب فى مسارات هذه الكواكب إلى نهاية عمر الشمس والذى يقدر بخمسة بلايين سنة أو ما يقرب من ذلك . كل هذه البرامج لا تتنبأ بمدار الأرض أو غيرها من الكواكب، فهى وإن كانت حساسة للشروط الابتدائية إلا أنها حساسية محدودة. لقد طور جاك لاسكار (Jack Laskar) الذى يعمل فى "Bureau de Longitudes" فى باريس برنامجا يبين أن الأرض سوف تتبع نفس مسارها الحاضر لمدة لن تقل عن مائتى مليون سنة (حد عمليات الحسابات التى يقوم بها البرنامج) . أوضح البرنامج أن خطأ فى كل خطوة بمقدار

١٥ مترا يعطى بعد ١٠٠ مليون سنة مدارا للأرض مقداره ٩٥٠ مليون كيلو متر. ثمة جانب مهم فى هذه الحسابات أنه عند إجرائها لمدة ١٠٠٠٠٠ عام ثم نعكس هذه الحسابات لا نعود للقيم الابتدائية، لكن إذا كان النظام مستقرا فلابد من العودة بالقرب من القيم التى بدأنا بها، ومن كل هذا نستنتج أن هذه النظم وإن كانت تخضع لقوانين صارمة، إلا أنها لا انعكاسية، ولكن عندما يستقر النظام، فيمكن القول بأن النظام يتواجد فى منطقة محدودة من الفراغ الطورى وأيضا فى الفراغ الحقيقى، أى أنه شواش يقينى.

يمكن أن نورد مثالا قريبا وهو: سلوك كرة عجلة الروليت حين يتم قذفها، ولكن قبل أن تستقر فى إحدى الحفر، إنها تقفر بشكل عشوائى، ولكن كل مساراتها محددة داخل حافة العجلة (مع افتراض أن القاذف قد أدى عمله بشكل صحيح) كذلك مثل آخر: حين يلجأ شخص ما إلى التخلص من مشكلة اختيار زوج جوارب فى الصباح بأن يشترى جوارب خضراء فقط، إنه يعلم أنه عند اختيار أى زوج جوارب من الدرج فسوف يكون زوج الجوارب أخضر، وإن كانت الجوارب مختلفة الصنع والشكل حتى وهو مغمض العينين فسوف يقع اختياره دائما على زوج جوارب أخضر، وبالتأكيد لن يكون أحمرا.

هنا لابد أن نذكر شيئاً وإن كان بعيدا عن سياق قصتنا: يؤمن البعض أن الكواكب الداخلية فى المجموعة الشمسية قد غيرت مداراتها، وبالأخص كوكب الزهرة، ويرتبط بذلك بعض الأساطير والحكايات الخيالية. كل هذا يرتبط بمحاولة تفسير هذه الأساطير ولكنه يهمل تماما قانون انحفاظ كمية الحركة الزاوية. ربما تمثل هذه الأساطير مادة لتفسير (أو حتى إثبات) أن الزهرة موجودة فى مدارها الحالى ليس من مدة طويلة، ولكن الحسابات التى أُجريت لا توضح أين كانت الزهرة منذ خمس ملايين سنة قبل الميلاد. كل هذا يؤكد أنه لا الزهرة ولا أى كوكب آخر قد تعرض لاضطرابات كبيرة فى مداره منذ (وبتحفظ) خمس ملايين سنة.

ثمة موضوع آخر مهم يتعلق بالكواكب، فكل الكواكب تدور حول محاورها وتترنح خلال هذا الدوران، يمكن أن يحدث رنين بين زمن دورة الدوران وزمن دورة الترنح والذى يؤدى إلى تغير كبير فى زاوية ميل الكوكب. يمكن أن يحدث هذا نتيجة تباطؤ دوران الكوكب فيدخل فى منطقة حساسة من الفراغ الطورى. إن ميل الأرض على الخط الواصل بينها وبين الشمس مقداره ٢٣° ، وهذا هو سبب تتابع الفصول، وجد أن وجود القمر يثبت قيمة هذا الميل ويمنع حدوث اضطرابات كبيرة به. بالنسبة للمريخ ورغم وجود قمرين إلا أنهما لا يستطيعان أن يثبتا ميله، وبالتالى

فإن ميل المريخ يتأرجح بين ±٢٠° فى حين ميله نفسه ٢٤° كما بينت ذلك التجارب النمذجية (Simulations) . يمثل هذا برهانا مباشرا على التغيرات الدرامية فى المناخ على المريخ التى حدثت فى الماضى، على هيئة ما يبدو أنه أنهار جفت والتى «نظفت» المناطق الجافة الآن على سطح الكوكب الأحمر. هذه التغيرات الكبيرة فى المناخ ربما ترتبط بفترات زمنية ماضية عندما كانت المنطقة القطبية تطل على الشمس، حيث تولدت كمية كبيرة من الحرارة صهرت أو حتى بخرت القلنسوة القطبية المكونة من الماء وثانى أكسيد الكربون المتجمد.

ربما يكون نفس الشيء حدث لكل من الزهرة وعطارد ولكن لا توجد أية آثار على سطحى الكوكبين، حيث إنه لا يوجد غلاف جوى لعطارد، وأما بالنسبة للزهرة فقد تأثر سطحها بالنشاط البركانى الشديد بها .

كل هذا يترك الأرض مستقرة، مما يدعو للسرور. ولكن على المدى الطويل جدا عندما ينحسر القمر عن الأرض نتيجة قوى المد والجذر، وبالتالى يبدأ ميل الأرض فى التغير بشكل كبير، وربما يصل إلى ٩٠° ، عندئذ سوف يكون الجو حارا عند القطب كما هو حار الآن عند خط الاستواء، وعند القطب الآخر سوف يكون شتاء قارسا، وبعد ستة أشهر تنعكس الصورة. بهذا تتغير صورة الحياة على الأرض كما نألفها الآن ورغم أن الشواش كان السبب الأساسى فى وجودنا حيث نحن الآن، فإن غياب الشواش، ويرجع الفضل فى ذلك لوجود القمر، أتاح كل ذلك تطور الحياة على الأرض بملايين السنين حتى وصلت إلى ما نراه الآن. كذلك فإن أفضل اقتراح لتفسير وجود قمر كبير قرب الأرض هو أن كويكبا خرج من مداره أثناء تكون الأرض واصدم بها وفصل الأجزاء المنصهرة التى كونت القمر فيما بعد.

هناك نقطة أخيرة – ربما كانت أهم نقطة على الإطلاق، ولابد من الإشارة إليها قبل أن نترك المجموعة الشمسية: لقد أوردت قبلا أنه عند إجراء الحسابات لحساب مدارات الكواكب، ثم نعكس هذه الحسابات، فإننا لا نعود لنفس القيم التى بدأنا بها، أى أن المدارات ليست انعكاسية، وطالما أن كل هذا فن عن كيفية إجراء الحسابات، لا يغير هذا من تفكيرنا حول ماهية الكون؛ حيث أن قوانين نيوتن انعكاسية من حيث المبدأ. ولكن كيف يقوم الكون بعمل هذه الحسابات؟ مثل لابلاس فإن هناك نوع من الذكاء (سواء كان حيا أو إلكترونيا) الذى يحفظ كل المعلومات عن كل الخواص ذات العلاقة (مثل موضع وكمية حركة كل جسيم) وبذلك يقوم بإجراء الحسابات وبشكل تام فى هذه الحالة، وبالتأكيد لابد أن تكون انعكاسية، ولكن كم من الخانات العشرية نحتاج لكى تكون الحسابات تامة (perfect)؟ ما هو حجم الذاكرة المطلوبة لهذه الحاسبات التامة؟

لأول وهلة يبدو هذا السؤال مستحيلا، وإن كانت الإجابة - كما ثبت - بسيطة جدا ومرتبطة بطبيعة الأرقام ذاتها.

عندما يتحدث معظم الناس عن الأعداد فإنهم تلقائيا يتحدثون عن الأعداد الصحيحة مثل ١، ٢، ٢٧، ٤٤، ١٩٩ وهكذا. كما أننا معتادون على الكسور البسيطة مثل $\frac{١}{٢}$ ، $\frac{١}{٣}$ ، $\frac{٣}{٤}$.

بالنسبة للكثير من أوجه الحياة يكفى هذا تماما، وعندما نستخدم الأجزاء العشرية يكون ذلك مرتبطا بالنقود، حيث نضرب مثلا عندما نقول ١٧,٤٦ دولارا يعنى هذا سبعة عشر دولارا صحيحا وستة وأربعون سنتا.

لكن هناك عدد لا نهائى من الأعداد لا يأتى ذكرها فى الحياة اليومية، الأسوأ من هذا أن هناك عددا لا نهائيا من الأعداد المحصورة بين أى عددين نفكر بهما، وهذا صحيح أيضا بالنسبة للأجزاء العشرية، فبين العددين ١و ٢ يوجد أعداد ذات خانة عشرية واحدة مثل ١,١ ، ١,٢ ، ١,٣ ... وهناك بين كل عددين من هذه الأعداد يوجد عدد لا نهائى من الأعداد التى تحوى خانتين عشريتين مثل ١,١١ ، ١,١٢ .... وهكذا وهكذا، حتى بين العدد ٢٤٧,٨٥٠٣٤٦٨٢٩٥٦٦٧ والعدد ٢٤٧,٨٥٠٣٤٦٨٨٢٩٥٦٦ ، أو يوجد عدد من الخانات العشرية يكفى لملء هذا الكتاب وتختلف فقط فى العدد العشرى الأخير، ويمكن أن يكون العدد كبيرا بدرجة أن يملأ الكون كله.

لم يكن كل هذا ليقلقنا لو كان كل ذلك مجرد حسب استطلاع رياضياتى، نعلم الآن أن بعض المتسلسلات تتميز بسلوك جيد ويمكن أن نعبر عنها بشكل بسيط إن الكسر $\frac{١}{٣}$ يعبر عن عدد لا نهائى من الرقم ٣ بعد العلاقة العشرية أى ٠,٣٣٣٣٣٣٠٠٠٠٠ ولكن يمكننا أن نكتبها بشكل مبسط (مضغوط) دون أن نملأ الكون بعدد لا نهائى من العدد ٣ . هناك نوع آخر من الكسور العشرية يمكن التعبير عنها بشكل مضغوط فالعدد ٠,٦٧٥٤٨٦٧٥٤٨٦٧٥٤٨ يمكن الحصول عليه بتكرار كتابة العدد ٦٧٥٤٨ إلى مالا نهاية. إن التعبير عن شيء ما كبير جدا يستحيل احتواؤه، نعبر عنه بشكل بسيط يسمى بالألغاريتم (Algorithm) . يمكن التعبير عن هذا إما على شكل كلمات أو تعبير رياضى بسيط، وفى هذه الحالة نقول إن التعبير الرياضى قابل للضغط ألغاريتميا. حتى قدماء اليونان والذين لم يتوصلوا إلى الأرقام العشرية تنبهوا إلى وجود أعداد ليس من السهل التعبير عنها بصورة مضغوطة (compact)، الأسوأ من ذلك إن معظم الأعداد لا يمكن وضعها على هذه الصورة.

إن الأعداد التى يمكن وضعها بكل مبسط هى النسبة بين الأعداد الصحيحة مثل $\frac{١}{٣}$ ، $\frac{٢٩٨٤٧}{٦٥١٠٩}$.

حتى الأعداد الصحيحة هى كسور فى واقع الأمر، فالعدد $\frac{٢}{٢} = ١$ ، $\frac{٨}{٤} = ٢$ وهكذا. ولأن مثل هذه الأعداد يمكن أن تأخذ شكل كسر سُميت بالأعداد الكسرية (rational) ولكن هناك أعداد مثل العدد ط (π) والذى لا يمكن وضعه على شكل كسر، لذا تسمى مثل هذه الأعداد بالأعداد اللاكسرية irrational . هذا هو قلب مشكلة الشواش والانعكاسية حسب نيوتن (أو لابلاس) كما نرى عندما نحاول تحديد موضع أى نظام فى الفراغ الطورى.

يمكن أن يكون «النظام» بسيطا مثل جسيم منفرد يتحرك فى صندوق تحت تأثير الجاذبية، تتحدد حالة الجسيم حسب موضعه وكمية حركته، وقد أثبت نيوتن أن الجسم سوف يتحرك وكأن كتلته الكلية تتركز فى نقطة رياضية عند مركز الجسيم (مركز الثقل)، ما علينا إلا أن نحدد موضع الجسيم فى الفراغ الطورى، ولكن لنركز اهتمامنا على الموضع حتى نبسط المسألة أكثر، وحتى يمكن أن نبسط المسألة أكثر وأكثر بأن نفترض أن الجسيم يتحرك فى خط مستقيم - ليكن سقوطا حرا فى مجال الجاذبية، ما علينا الآن هو تحديد موضع الجسيم على هذا الخط المستقيم وهذه أبسط المسائل التى يمكن تصورها فى الفيزياء ولكن حتى هذه المسألة مستحيلة، عدا حالات نادرة جدا - كيف؟

لنفرض أننا نعلم أن الجسيم بين نقطتين (A, B) ونود أن نعرف بالتحديد وبدقة ماهى نسبة المسافة بين نقطتى A , B التى قطعها الجسيم. ليس هناك مشكلة إذا كانت النسبة هى $\frac{١}{٣}$ ، أو $\frac{٩٨}{٣١٧}$ ... أو أى كسر آخر، ولكن بين كل زوجين من الأعداد الكسرية يوجد عدد لا نهائى من الأعداد اللاكسرية، وأى من هذه الأعداد لا يمكن التعبير عنه إلا بعدد لا نهائى من الأرقام ولا يمكن التعبير عن ذلك بشكل مضغوط، فمثلا إذا كانت نسبة المسافة التى قطعها الجسم هى ($\frac{١}{\pi}$) على الخط الواصل بين النقطتين (A, B) فيمكننا التعبير عن هذه المسافة بعدد عبارة عن كسر عشرى به عدد من الخانات كيفما نريد وبالدقة التى نريدها، ولكن ليس بالتأكيد بدقة «تامة»، إلا إذا استخدمنا عددا لا نهائيا من الأرقام. كل هذا بالنسبة لجسيم واحد على خط مستقيم بين نقطتين معرفتين. ماذا عن نظام حساس للشروط الابتدائية؟ فى أى حالة سوف يعتمد مستقبل هذا النظام؟ دائما مهما أخذنا من أرقام فسوف يعتمد على الرقم التالى، والذى غضضنا النظر عنه فى الواقع.

يعنى هذا أنه يلزم حاسب ذو ذاكرة لا نهائية لحساب موضع جسيم وحيد. بالطبع لابد من حاسب أكبر من الكون نفسه، وإذا عرفنا الكون بأنه «كل شىء هناك»، يعنى هذا أن النظام الوحيد الذى يمكن أن يحاكى سلوك الكون بكل التفاصيل هو الكون نفسه، وحتى لو كان الوضع كما قال لابلاس: إن الكون محدد

تماما (يقينى) (deterministic) – وإن كل المستقبل موجود فى الحاضر، فلا توجد طريقة لمعرفة المستقبل غير متابعة كيف يتطور الكون نفسه، بصرف النظر عما إذا كانت إرادتنا حرة أم لا – فإن الكون يتصرف كما لو كانت إرادتنا حرة، وهذا فى الواقع الأمر المهم فى كل الموضوع.

ولكن ماذا بالنسبة للانعكاسية وسهم الزمان؟ يتحدث الناس وبسهولة عن «االعصا السحرية» التى تعكس كل حركات الجسيمات فى الكون (أو فى صندوق يحوى غازا) حتى يجرى الزمن فى الاتجاه المعاكس، ولكن كما نرى فإن ذلك مستحيل.

وحتى لو تركنا جانبا النظرية النسبية والتى تثير أسئلة أساسية مثل «إن كل حركة فى الكون يمكن عكسها آنيا» فى حين كل الإشارات لا يمكن أن تنتشر بسرعة أكبر من سرعة الضوء وعن الآنية ذاتها، كل ذلك يعتمد على موضع المراقب فى الكون. لهذا كله يستحيل انعكاس حركة حتى جسيم وحيد منفرد. لكى تفعل ذلك لابد وأن تحدد موضع الجسيم باستخدام عدد لا نهائى من الأرقام (فقط فى حالات نادرة جدا عندما تكون المسافة التى قطعها الجسم ممثلة بعدد كسرى بسيط، وعندئذ فقط يمكن أن نعكس حركتها بدقة تامة . واضح أن هذا مستحيل، ليس فقط لانعدام المقدرة من جهة الإنسان، هذا ناتج عن استحالة تجنب الشواش – **لا يمكن التنبؤ بمستقبل الكون بكل تفاصيله، وبالتالى فإن الزمن لا يمكن عكسه.**

إن الأفكار التى وردت فى هذا الباب هى الأساس الراسخ – البساطة العميقة – والتى يستند عليها تعقد هذا الكون. انطلاقا من هنا – يمكن أن ننتقل نحو الطبيعة المعقدة لهذا الكون، للحياة نفسها والتى نشأت عن الشواش. إذا كنت تعرف الشواش والهندسة الكسرية يمكنك الانتقال مباشرة إلى الباب الرابع، ولكن من الأفضل أن تصحبنا فى هذه الرحلة القصيرة والهامة فى عالم الشواش والأشكال الكسرية التى أصبحت دعامة الشواش. ليست رحلة فى أمور بعيدة وإنما هى متلامسة مع ما نعرض، بل وتتشابك معه – وهى أمور الحياة ذاتها، أى محور كل نقاشنا.