الباب الثانى

الآليات فى البرامج والطبيعة

Mechanisms in Programs and Nature

عمومية السلوك
Universality of Behaviour

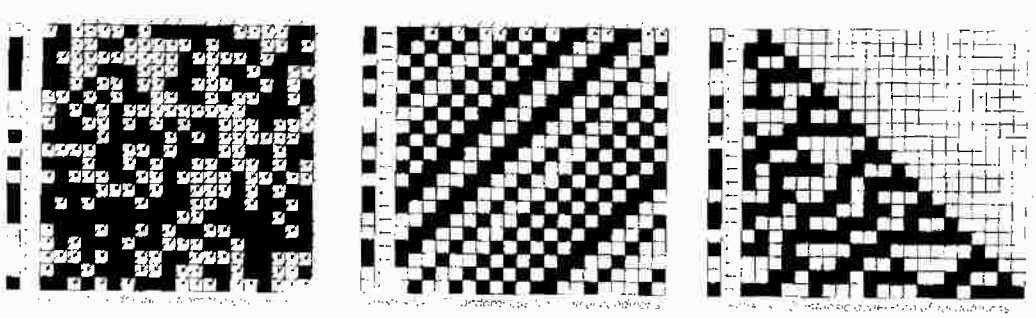
فى الأبواب السابقة كان الجهد كله موجها نحو إقرار الحقيقة الخاصة بأن البرامج البسيطة يمكن أن تبدى سلوكا شديد التعقيد .

الآن ننتقل إلى الجانب الأهم وهو كيفية تطبيقها فى أمور الطبيعة المختلفة. إن النظرة المتفحصة للأشكال التى أوردناها وصور مختلفة من النظم الطبيعية تظهر تشابها مدهشا . ليس هذا خداع نظر أو شيء من هذا القبيل . إنها حقيقة والآن لنثير السؤال لماذا يحدث هذا ؟

إن تحليل الأشكال التى نحصل عليها يوحى بأن البرامج البسيطة تظهر لنا كل آليات السلوك التفصيلية خطوة بخطوة وهذا جانب مهم فى هذه المعالجة . إن بعض الظواهر التى سوف نناقشها قد قام العلم التقليدى بشكل مرضٍ فى وصفها وتحليلها، ولكن بعض هذه الظواهر لم ينجح العلم التقليدى فى وضع إطار مرضٍ لها، وخاصة تلك التى تتميز بالتعقيد الشديد .

ثلاث آليات للعشوائية
Three Mechanisms for Randomness

من الأمور البديهية أن العشوائية تمثل سمة عامة فى كل النظم الطبيعية . يوحى ما نشاهده وكأن كل نظام به عشوائية لسبب خاص به ، ولكن ما توصلت إليه هو أنه هناك ثلاث أسباب فقط للعشوائية كما هو مبين فى شكل (٣٤) .



شكل(٣٤)
الآليات الثلاث المسئولة عن العشوائية . الأسهم القطرية تمثل تدخلا خارجيا.
فى الحالة الأولى نرى تدخلا عشوائيا من الوسط المحيط فى كل خطوة .
فى الحالة الثانية يكون التدخل فى الشروط الابتدائية فقط فى الحالة الثالثة لا يوجد تدخل على الإطلاق

السمة الأساسية للحالتين الأولى والثانية أن العشوائية تأتى من خارج النظام ، أى أن كل هذا لا يفسر ظهور العشوائية بشكل عام .

النقطة المحورية الآن أنه فى شكل (٦) على الصفحة (٢٤)(*) نرى أن البرامج البسيطة يمكن أن تعطى عشوائية رغم بساطة القواعد والشروط الابتدائية . الجانب الجديد والمهم هنا أن العشوائية ليست ناجمة عن الوسط المحيط أو من خارج النظام بأى شكل كان . أنها آلية جديدة لظهور العشوائية .

لا ينفى هذا العامل الثالث وجود العاملين الأولين فى النظم الطبيعية ، ولكنه يمكن أن يفسر ظهور العشوائية إن لم يكن فى كل هذه النظم فبالتأكيد فى بعضها.

العشوائية من الوسط المحيط
Randomness from the Environment

من أفضل الأمثلة على العشوائية التى يمليها الوسط المحيط هو ملاحظة قارب على سطح ماء هائج . واضح أن عشوائية حركة سطح الماء هى سبب عشوائية حركة القارب ولكن من أين أتت عشوائية سطح الماء ؟ الإجابة أنها ناتجة عن حركة عشوائية لأجزاء الماء نتيجة تلاطم الأمواج ربما من عاصفة هبت منذ يومين أو أكثر وتظل حركة سطح الماء عشوائية لمدة طويلة .

مثال آخر وهو الحركة البراونية حيث تتقاذف جزيئات السائل حبة لقاح ويمكن مشاهدتها تحت الميكروسكوب وكيف تتحرك عشوائيا . مثال آخر فى المكبرات الإلكترونية حين تكون الإشارة الداخلية غير متوافقة وبالتالى فإن المكبر يكبر الضوضاء ويعطى إشارات عشوائية تماماً ، وهناك أمثلة أخرى عديدة على مثل هذه النظم العشوائية .

لكن هناك جانب غاية فى الأهمية وهو أن هذه النظم نفسها مع كل دفعة من الوسط المحيط تتغير حالتها وتأخذ وقتا غير قصير لكى تعود إلى حالتها الأولى لتستقبل دفعة أخرى من الوسط المحيط ، وبالتالى ليست الأمور بهذه البساطة .

نظرية الشواش والعشوائية الناتجة عن الشروط الابتدائية
Chaos Theory and Randomness from Initial Conditions

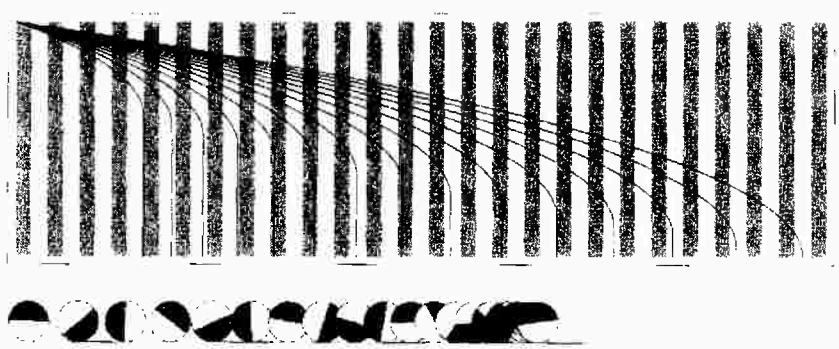
ومن الأمثلة البسيطة التى لا تحتاج إلى تدخل الوسط المحيط ولكن تظهر عشوائية نتيجة عشوائية الشروط الابتدائية هو سيارة تسير على طريق غير ممهد مليء بالمطبات . فى هذه الحالة تكون حركة السيارة عشوائية إذ تتحرك إلى أعلى وأسفل حسب رداءة الطريق . يمكن اعتبار رداءة الطريق شروطا ابتدائية لنظام (السيارة – الطريق) .

مثل آخر هو إذا تدحرجت كرة على سطح خشن ، ولكن هنا إضافة إذ عند دفع الكرة بسرعة ابتدائية عشوائية سوف تضاف عشوائية أخرى إلى خشونة السطح وتكون النقطة التى تتوقف عندها الكرة عشوائية تماماً .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٣ .

من المدهش وجود عشوائية فى مثل هذه النظم حتى وإن كان السطح أملساً حيث تكفى عشوائية دفع الكرة بسرعة ابتدائية عشوائية . لذا تعتبر كل ألعاب «الصدفة» أو ألعاب التسلية مثل رمى النرد ، قذف العملات وغيرها من هذا النوع الذى تصفه .

لننظر إلى عشوائية حركة كرة نصف سطحها أبيض والنصف الآخر أسود وتقذف بسرعة ابتدائية عشوائية . عندما تقف الكرة سوف نجد أن نتائج وقوف الكرة ونصفها العلوى أسود أو أبيض عشوائية تماماً كما هو مبين فى شكل (٣٥) .



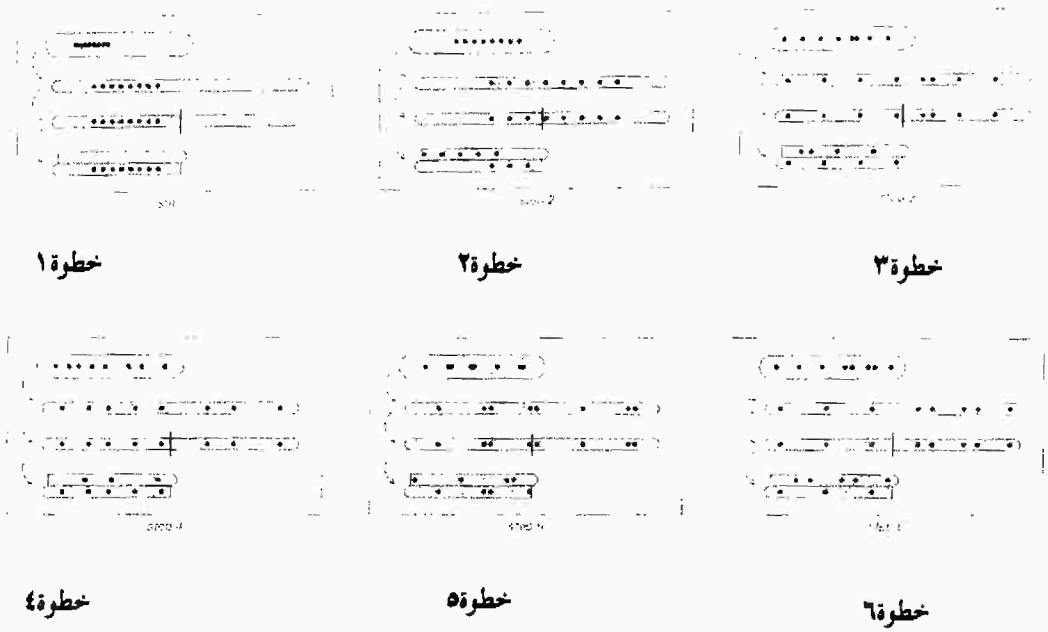
شكل(٣٥)

تقذف الكرة التى يكون نصف سطحها أبيضا والنصف الآخر أسودا بسرعة ابتدائية عشوائية من اليسار وتتوقف بعد مسافات مختلفة عشوائية . التغيرات الطفيفة فى السرعة الابتدائية تؤدى إلى تغير كبير فى النتيجة .

إن ألعاب قذف العملات ، عجلات الحظ والروليت وغيرها من الألعاب المشابهة كلها تعتمد على حساسية مثل هذه الحركة للتغيرات البسيطة فى الشروط الابتدائية العشوائية بطبيعتها .

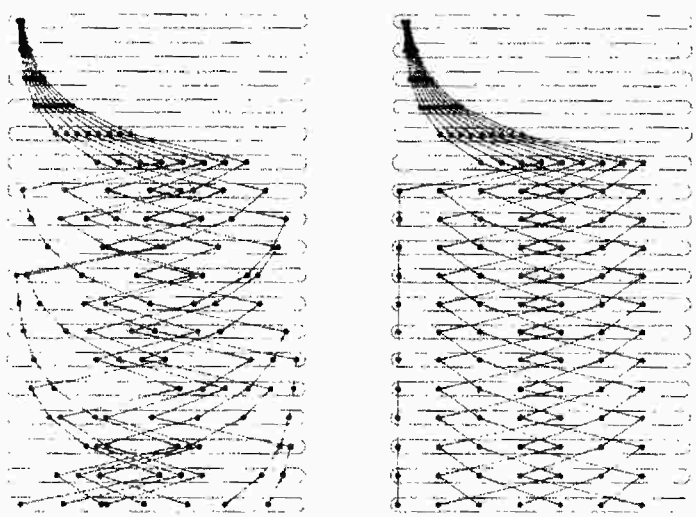
من الأمثلة الهامة التى أدت إلى نظرية الشواش هى النظم التى تكون شديدة الحساسية للتغيرات البسيطة جداً فى الشروط الابتدائية بحيث تحدث بها تغيرات كبيرة جداً ولن تعطى أبداً نتائج ثابته متكررة .

مثل آخر مهم هو عملية العجن لإعداد المكرونة الشريطية أو بعض أنواع الحلوى. فى هذه العملية تؤخذ قطعة من العجين وترقق إلى ضعف طولها ، تقطع من منتصفها ثم يوضع كل من النصفين فوق الآخر ثم ترقق مرة أخرى وهكذا . كما هو مبين فى شكل ٣٦ أ ، مع كل مرة تتم عملية الترقيق والقطع تزداد المسافة بين أى نقطتين متجاورتين إلى الضعف .



شكل (٣٦أ)

يبين الشكل عملية العجن والترقيق وكيفية تباعد النقاط المتجاورة فى كل مرة تتم فيها هذه العملية



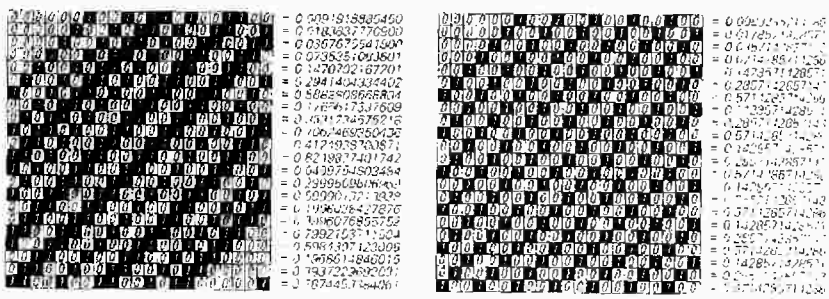
شكل (٣٦ ب)

بعد عدة عمليات من العجن والترقيق تظل المسافات بين النقاط المتجاورة ثابتة

فى شكل ٣٦ ب : نرى أن عملية تباعد النقاط المتجاورة تتوقف حيث وصلت الرقائق إلى أقصى طول لها وتصبح المسافات متساوية متكررة وتتوقف العشوائية .

إن هذه العملية تتطابق تماماً مع المثال الذى أوردناه على صفحة ٨٥(*) .

فى شكل ٣٧ نوضح كيف تؤدى هذه العملية إلى إزاحة فى الأرقام المسئلة لعملية العجن والتقطيع إلى إزاحات خطوة بخطوة .



شكل(٣٧)

يبين الشكل المتتاليات الرقمية الممثلة لأوضاع النقاط فى الخطوات المتتالية فى كل خطوة تزاح الأرقام موضعا واحدا إلى اليسار مما يجعل الأرقام التى إلى اليمين أهم وتزداد أهميتها كل خطوة وهكذا يظهر تأثيرها . بالنسبة للشكل إلى اليسار عندما تصل الأرقام إلى أقصى قيمة تثبت وتختفى العشوائية ولا تتأثر من الإزاحة وتصبح تكرارية خالية من العشوائية.

نفس الشيء نلاحظه فى نظم أخرى مثل انعكاس شعاع ضوء من عدة مرايا متتالية وكذلك حركة كرات صغيرة تقذف نحو منظومة من المسامير مثبتة فى نظام شطرنجى . حتى نظام المجموعة الشمسية وعلى الأقل حركة الشمس والقمر والأرض يعتريها بعض العشوائية التى يمكن رصدها فقط عبر عدة ملايين من السنين .

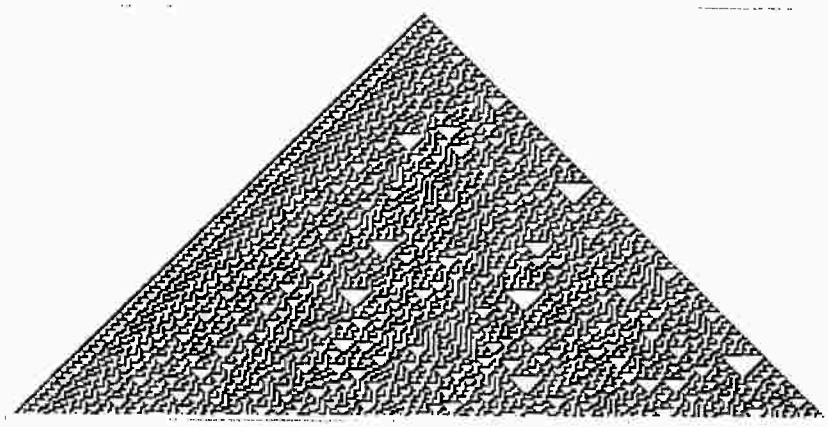
تولد العشوائية داخليا
Jntrinsic Generation of Ramdomness

فى النظامين السابقين رأينا كيف أن العشوائية تأتى من خارج النظام . إما من الوسط المحيط أو من الشروط الابتدائية .

الآن ننتقل إلى النوع الثالث حيث تتولد العشوائية فى النظام من داخله وليس من أى مؤثر خارجى وهذا النوع هو من أهم الاكتشافات التى ترد فى هذا الكتاب .

فى شكل ٣٨ نرى كيف تتولد العشوائية فى نظام ما داخليا . لقد ورد هذا الشكل فى صفحة (٢٥)(*) .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .



شكل(٣٨)
الأوتوماتون الخلوى (٣٢٠) والذى ورد فى صفحة ٢٥(*) يبين أن العشوائية تولدت داخل النظام دون أى مؤثر خارجى

ولكن يظهر تساؤل هام جداً هو ما هى معايير العشوائية وما هو النظام الذى نعتبره عشوائياً . لقد تطورت فى الرياضيات التقليدية والإحصاء طرق للحكم على النظام هل هو عشوائى أم لا . بتطبيق هذه القواعد على شكل (٣٨) نجد أنه لم تنجح أى من هذه الطرق فى إيجاد انتظام ما فى هذا الشكل .

يظهر سؤال آخر : ما هو النظام العشوائى بحق ؟ لقد تم وضع تعريفات مختلفة للنظم العشوائية بحق وكلها تبين أن العمود المركزى فى الشكل المبين هو بحق عشوائى . من المهم أن نورد حقيقة أن فى حزمة «ماثماتيكا» أوردنا الأوتوماتون الخلوى القاعدة (٣٠) بالتحديد لتوليد أعداد عشوائية من الصفر والواحد . جانب مهم أن هذا الشكل الذى أوردناه لا يمكن أن ينمو إلى ما لا نهاية – وبالتالى فإن له دورة يتكرر بعدها بالضرورة ولكن هذه الدورة تبلغ بليون بليون عمر الكون الذى نعيش فيه .

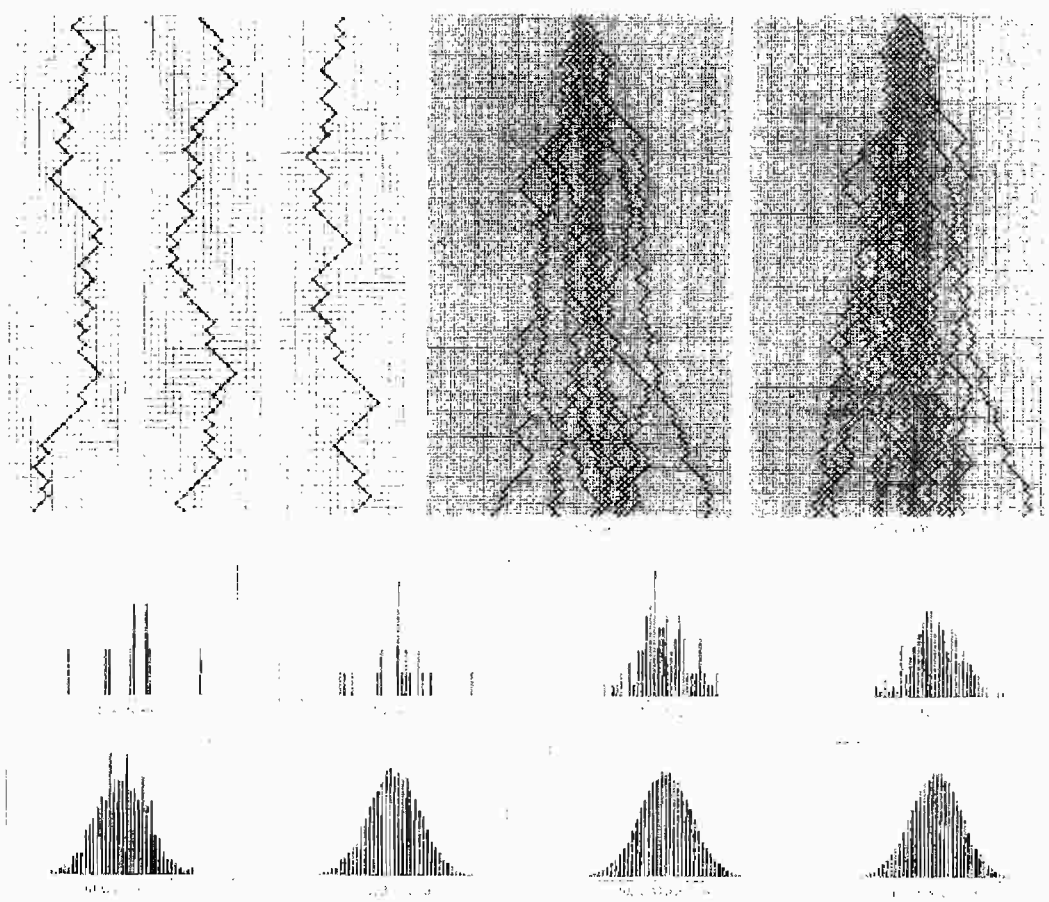
جانب مهم فى هذا الموضوع أنه نظراً لبساطة تولد العشوائية داخليا وبهذه البساطة فإننا نتوقع حدوث هذه الآلية كثيراً فى الطبيعة حتى مع وجود بعض الانتظام فى هذه النظم العشوائية الطبيعية .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .

ظاهرة الاستمرارية
Phenomenon of Continuity

رغم أننا نعلم الآن أن المواد تتكون من ذرات تتحرك وتتصادم أو تصطف فى نظام معين فى المواد الصلبة إلا أننا لا نلاحظ هذه الانفصالية (discreteness) وتبدو الظواهر الطبيعية استمرارية تماماً .

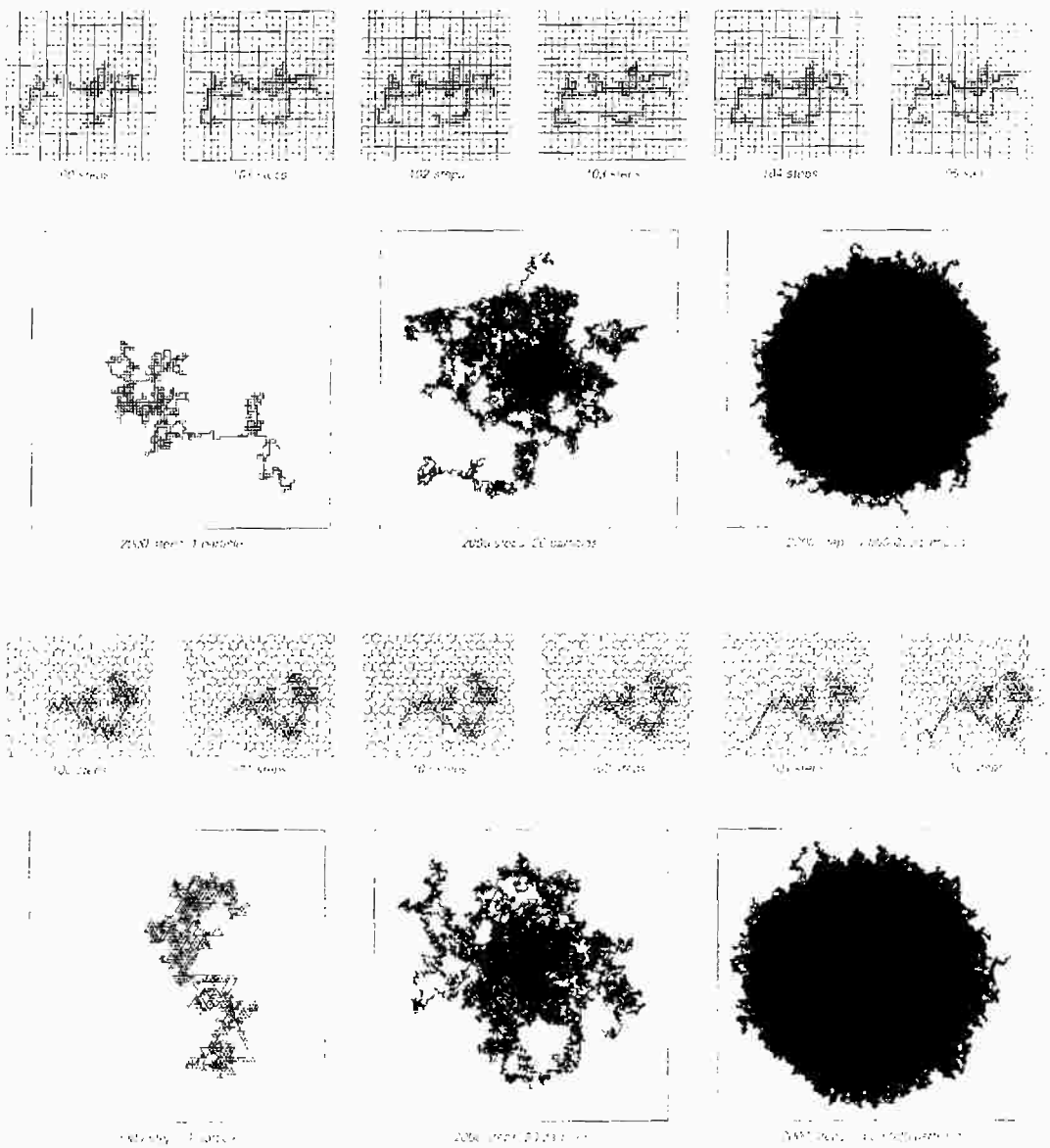
فى شكل ٣٩ نرى واضحاً الانتقال من الانفصالية إلى الاستمرارية عندما نتقل من ملاحظة حركة جسيم وحيد إلى ملاحظة حركة مجموعة ضخمة من الأجسام تتحرك عشوائياً ، أى أن العشوائية تمحو الانفصالية .



شكل(٣٩)

فى شكل (أ) نرى حركة ثلاث جسيمات ، ثم عشر جسيمات ، ثم ٢٠ جسيم
فى شكل (ب) نرى توزيعاً إحصائياً لحركة عشر جسيمات ثم ٢٠ جسيما ،
١٠٠ جسيم ، ٢٠٠ جسيم ، ١٠٠٠ جسيم ، ١٠٠٠٠ جسيم ، ١٠٠٠٠٠ جسيم ثم مليون جسيم

نفس الشيء يحدث فى الحركة العشوائية فى بعدين حيث نرى حركة عدة أجسام فى شبيكة سداسية وأخرى مربعة فى شكل (٤٠) . بعد عدة خطوات تختفى الفروق بين الشكلين فى التوزيع أى أن اختلاف البنية فى الشبكتين تمحوه العشوائية.



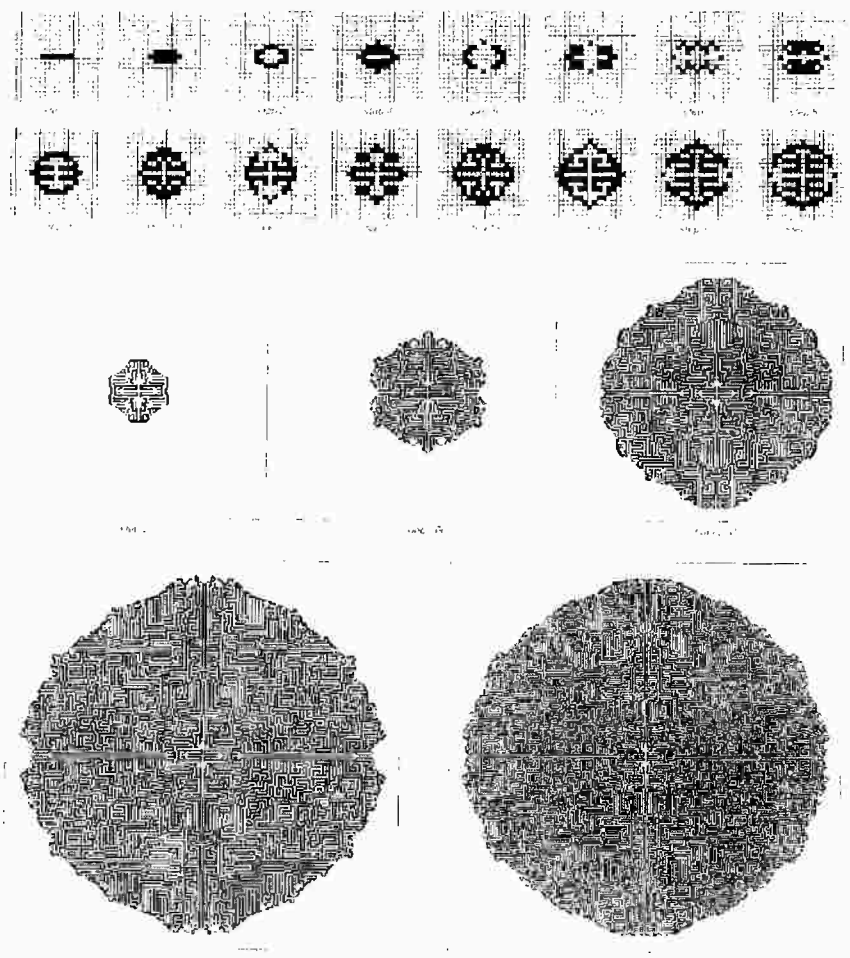
شكل(٤٠)

حركة عدة أجسام فى شبكتين مربعة وسداسية

وفى الصورتين النهائيتين نرى توزيعا دائريا بعد ألفى خطوة لمليون جسيم

نلاحظ نفس النتيجة فى ما يسمى بنموذج إيدن حيث تضاف خلية سوداء فى كل خطوة ملاصقة للخلايا المرسومة وكذلك إذا غيرنا هذه القاعدة وأضفنا خلية بحيث فى كل خطوة يكون لها عدد معين من الخلايا المجاورة . ولكن تأتى العشوائية هنا فى كل هذه الأمثلة من الوسط المحيط . من ناحية أخرى وجود العشوائية يطمس الانفصالية بصرف النظر عن مصدر هذه العشوائية – المهم أن تكون العشوائية موجودة .

فى شكل ٤١ نورد نظام أوتوماتون خلوى فى بعدين حيث تظهر العشوائية داخليا رغم انفصالية المنظومة . لا يحدث هذا فى كل الأحوال حيث رأينا فى الباب الخامس(*) بعض الأمثلة التى لا تؤدى إلى أشكال إنسيابية أو استمرارية .



شكل(٤١)

أوتوماتون خلوى فى بعدين يظهر أن العشوائية تطمس الانفصالية بعد ٤٠٠ خطوة

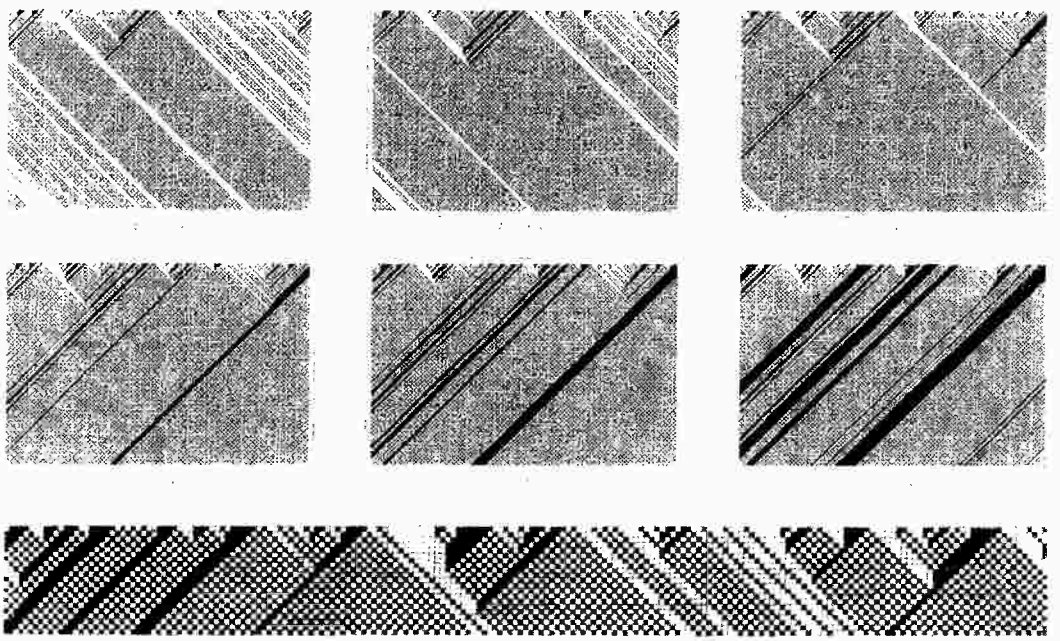
(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .

أصول الانفصالية
Origins of Discretness

لقد رأينا كيف تطمس العشوائية الانفصالية ولكن هل يمكن أن تؤدى الاستمرارية إلى انفصالية ؟ هذا أيضاً صحيح .

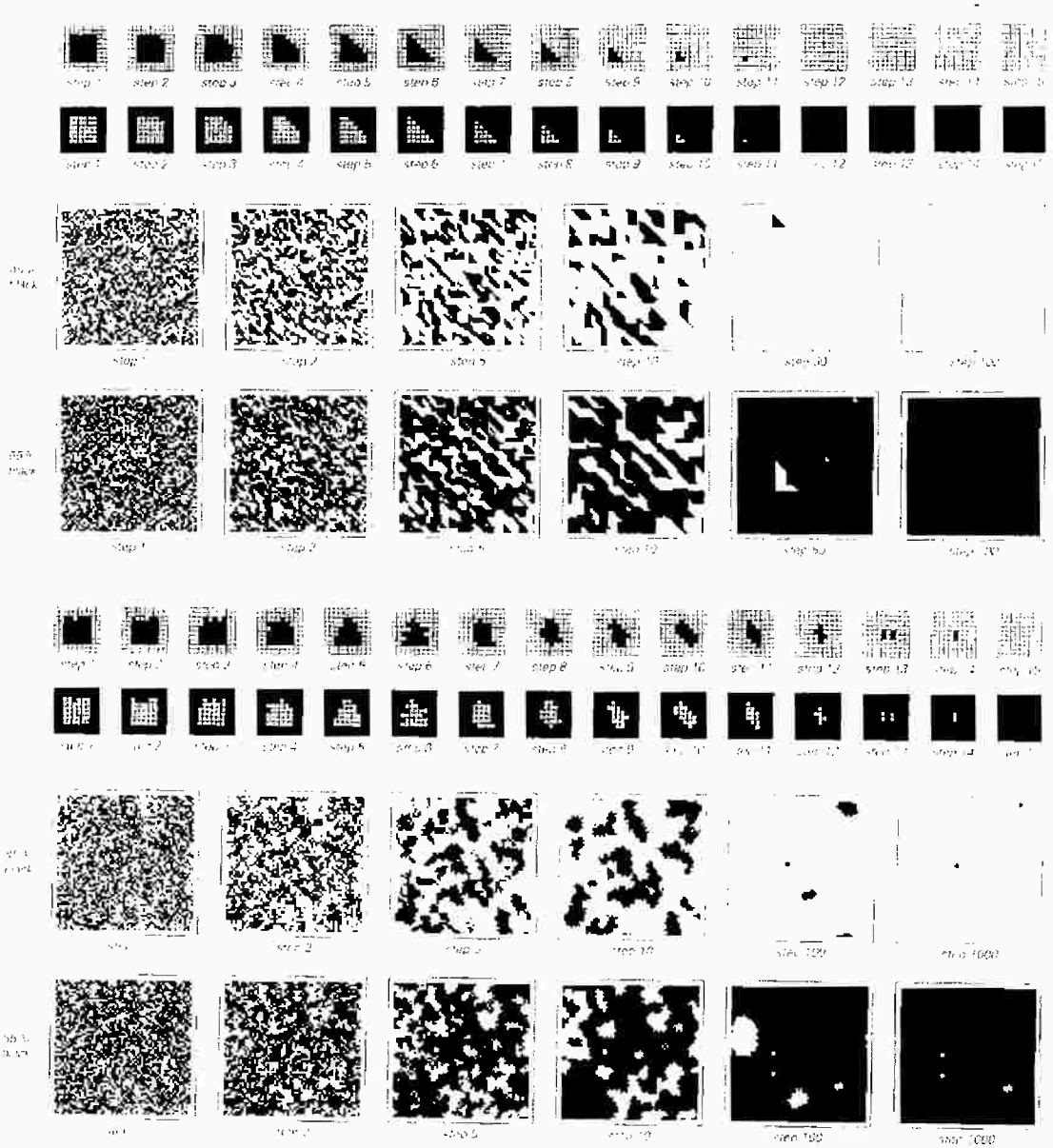
فى الحياة نرى بعض الأمثلة على السلوك الانفصالى حيث يبدأ الماء فى التبخر عندما تصل درجة الحرارة إلى ١٠٠°م وغيرها الكثير من التغيرات الفجائية فى الظواهر الفيزيائية .

فى شكل (٤٢) نرى كيف تحدث التغيرات الفجائية فى الأوتوماتون الخلوى.



شكل(٤٢)
أوتوماتون خلوى فى بعد واحد الذى يبين سلوكا يتغير فجائيا رغم أن الشروط الابتدائية تتغير بشكل استمرارى
إذا كانت الكثافة الابتدائية للخلايا السوداء أقل من ٥٠٪ تظل الشرائط البيضاء نشطة
حالما تزيد الكثافة عن ٥٠٪ تختفى الشرائط البيضاء وتتفوق الشرائط السوداء

فى شكل (٤٣) نرى ظهور هذه التغيرات بشكل أكبر فى الأوتوماتون الخلوى فى بعدين أو أكثر .

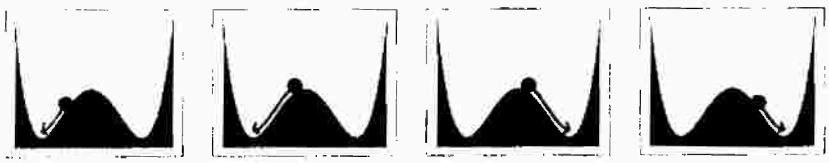


شكل(٤٣)

مثالان لأوتوماتون خلوى فى بعدين بين

كيف يحدث التغير عندما تزداد كثافة الخلايا السوداء أو البيضاء فإنها تهيمن على بقية المساحة

هذا السلوك ليس بالغريب على النظم الفيزيائية رغم التغير السلس والتدريجى فى الشروط الابتدائية فإنه يحدث تغير فجائى مثلما هو مبين فى شكل (٤٤) .



شكل (٤٤)
رغم استمرارية حركة الكرة قبل وبعد القمة فإنه يحدث أن تنتقل من التجويف الأيسر إلي الأيمن عند نقطة معينة والعكس صحيح

مشكلة تحقيق القيود
The Problem of Satisfying Constraints

فى الباب الخامس صفحة (١١٦)(*) أوردنا أمثلة لنظم تخضع لبعض القيود التى تؤدى إلى سلوك شديد التعقيد ، لكنى أعتقد وبشدة أن تفسير بعض الظواهر الطبيعية ذات السلوك المعقد لها تفسيرات وليس بأفضلها نموذج تحقيق قيود ما – ينبنى رأيى هذا لأن تحقيق القيود ليس عملية بسيطة فى حد ذاتها وبالتالى يصعب تحقيقها فى الطبيعة .

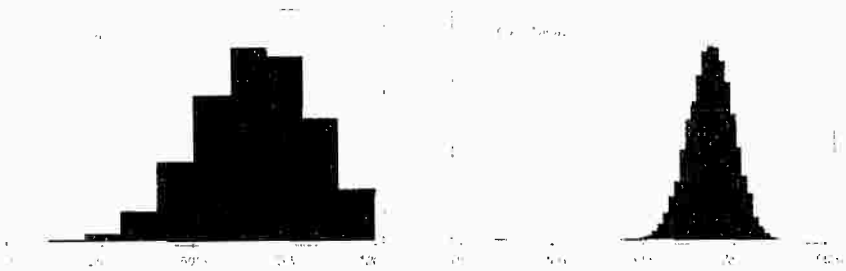
فمثلا إذا أخذنا مصفوفة ١٠ × ١٠ (عمود وصف) من الخلايا البيضاء والسوداء نحصل على أشكال ممكنة عددها

(١,٢٦٧,٦٥٠,٦٠٠,٢٢٨,٢٢٩,٤٠١,٤٩٦,٧٠٣,٢٠٥,٣٧٦)

إذا أخذنا مصفوفة ٢٠ × ٢٠ نحصل على عدد من الأشكال الممكنة يفوق عدد الجسيمات فى الكون كله .

فى شكل ٤٥ نرى عدد المربعات التى لا تحقق القيود التى أوردناها فى صفحة ١١٧(*) بالنسبة للعدد الكلى من المربعات من كل الأشكال الممكنة التى تحقق هذه القيود .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .



شكل(٤٥)

العدد النسبي لكل الأشكال الممكنة والتي يوجد بها نسبة مئوية معينة من المربعات

لا تحقق القيود الواردة في صفحة ١١٧(*) يوجد فقط عدد محدود جداً من الأشكال التي تحقق القيود بشكل كامل.

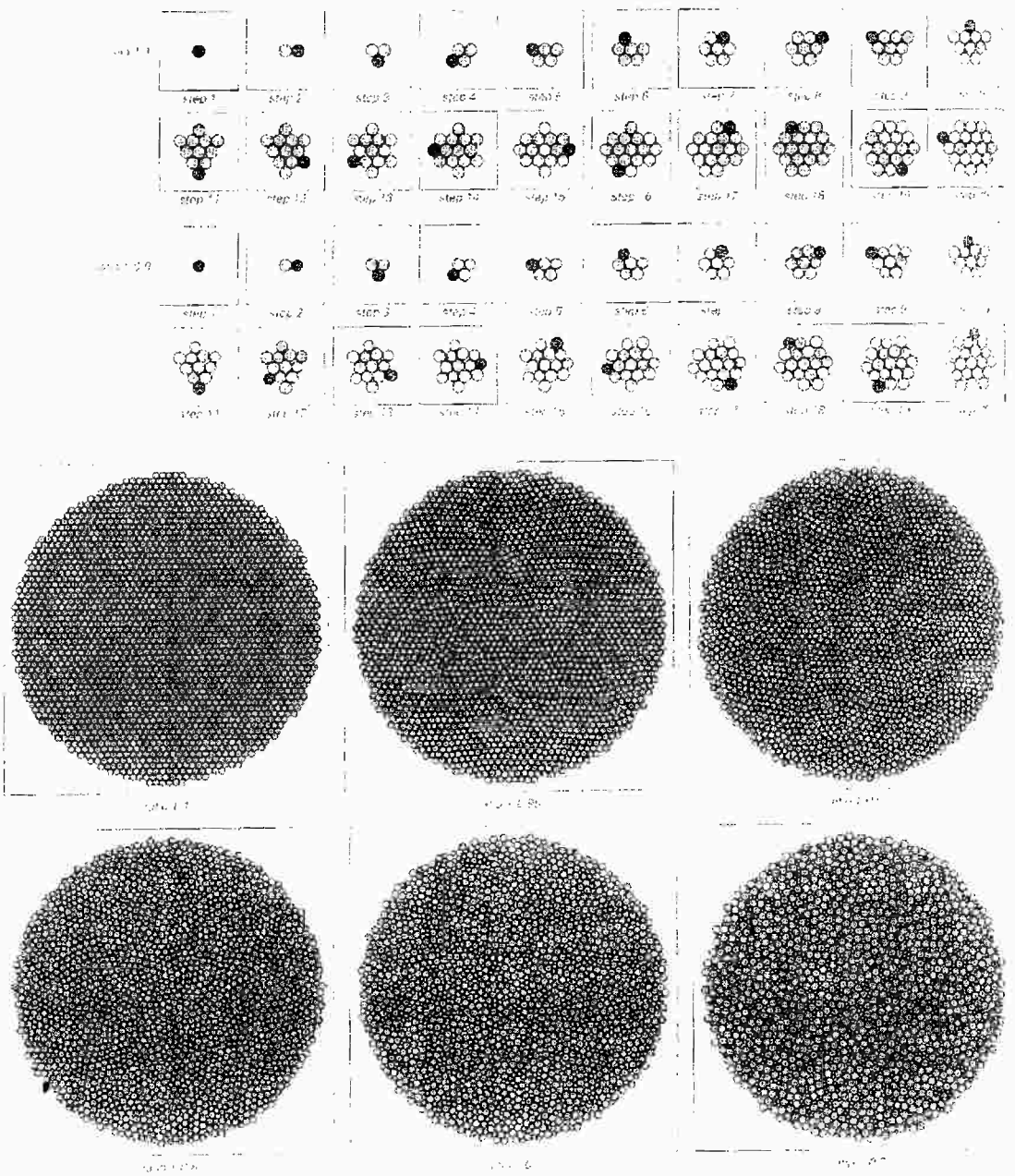
بالنسبة للمصفوفات الكبيرة فإن الغالبية العظمى من الأشكال الممكنة تحوى مربعات لا تحقق هذه الشروط بنسبة ٧٠ ٪

لذا لكي نصل إلى الهدف المنشود بشكل عملي لنأخذ شكلاً ممكناً ثم نبدأ في تعديله حتى يحقق القيود المطلوبة في نهاية الأمر .

في بعض الأحيان تتوقف المنظومة عن التطور وتنتهي إلى وضع بعيد تماماً عن المنشود ولا تحقق القيود المفروضة . في هذه الحالة يلزم تخفيف القيود بعض الشيء حتى لا تتوقف المنظومة قبل تحقيق القيود المفروضة .

في شكل (٤٦) نرى كيف يمكن رص كرات بحيث تكون المسافة بين مركزي كل كرتين متجاورتين أقل ما يمكن . وجد أنه من الأفضل أن يستعمل نوعان من الكرات غير متساويين في القطر كما هو مبين في الشكل .

(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .



شكل(٤٦)

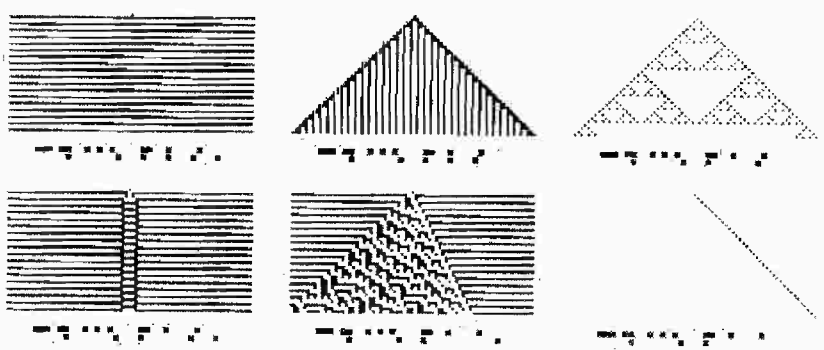
رص كرات من نوعين مختلفين فى القطر (تبين النسبة بين قطريها على الرسم)

لهذا السبب أرى أن النظم الطبيعية تميل لأن تتطور تدريجيا حسب رؤى أخرى وليس حسب نظم تحقق قيودا معينة .

أصل السلوك البسيط
Origin of Simple Behavior

يتباين سلوك النظم الطبيعية من سلوك شديد التعقيد إلى سلوك بسيط يمكن أن يكون مجرد تكرارية بسيطة أو حتى تجانس تام وتتدرج إلى أشكال متداخلة .

بالنسبة للبرامج فإن الكثير من البرامج التى تخضع لقواعد بسيطة جداً يمكن أن تعطى سلوكا شديد التعقيد ، وهناك بعض البرامج التى تخضع لقواعد معقدة جداً أو تبدو كذلك تعطى سلوكا بسيطا للغاية ، وأيضاً هناك بعض القواعد التى تبدو متشابهة بشكل كبير جداً تعطى أنماطاً متباينة جداً من السلوك . فى شكل (٤٧) نعطى أمثلة على مثل تلك النظم .

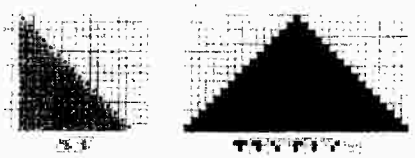


شكل(٤٧)
أمثلة على الأوتومات الخلوية التى تختلف قواعدها من شكل لآخر باختلاف فى وضع (Position) واحد فقط ، ورغم تشابه قواعدها نرى أن سلوكها متباين تماماً

إذا نظرنا إلى قاعدة ما بصورتها الأولية فإنه يبدو مستحيلا تقريباً الحكم على سلوكها مسبقاً ، ولكن فى الحالات التى تفضى إلى سلوك بسيط يمكن أن نحدد آليات بسيطة تحكم سلوك المنظومة .

نحكم على المنظومة بأنها بسيطة عندما تحوى عديداً من سمات الانتظام ، ولكن يصعب تحديد أى من هذه الآليات هو حقيقة المسؤول عن هذه البساطة فى السلوك .

من أهم هذه السمات التى تُظهر السلوك البسيط الانتظام (Uniformity) والانتظام يعنى أنه لا يحدث تغير فى المنظومة مع مرور الوقت وذلك كما هو مبين فى شكل (٤٨ أ) .



شكل (٤٨ أ)
النمو المتجانس من نقطة واحدة طريقة مباشرة للحصول
على انتظام كما هو مبين للأوتوماتا المتحركة والأوتوماتا الخلوية

هناك آلية أخرى مباشرة أيضاً ولكن بشكل أقل مبينة فى شكل (٤٨ ب) عندما تنمو كل منطقة على حدة لنفس الحالة .

شكل (٤٨ ب)
يمكن أن يكون التجانس فى مناطق محدودة تنمو كل منها لنفس الحالة

فى شكل (٤٨ جـ) نرى منظومات حيث تتفاعل أجزاء مختلفة وتتطور لنفس الحالة .

شكل (٤٨ جـ)
الأوتوماتا الخلوية من النوع (١) تتطور إلى حالة انتظام كما بينا فى الباب الأول

حتى الآن رأينا أن آليات الانتظام تعنى انتظاما وبساطة على كل مستوى ، ولكن فى الطبيعة يعنى الانتظام الارتباط بسلوك ميكروسكوبى معقد جداً . فى معظم الأحيان يكون النظام عشوائيا على المستوى الميكروسكوبى ولكن على المستوى الأعلى ، أخذ المتوسط يطمس هذه العشوائية كما هو مبين فى شكل (٤٨ د) .

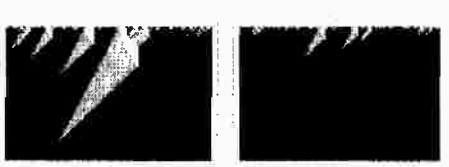
شكل (٤٨ د)
أخذ متوسط العشوائية على المستوى الصغير يفضى إلى انتظام كما هو مبين للقاعدة (٣٠)

لا يعتمد الانتظام بشكل عام على الشروط الابتدائية ولكن أحياناً يمكن أن نحصل على الانتظام مع مدخل مختلف .

يمكن أن نحصل على الانتظام إذا اشترطنا أن كمية معينة تظل ثابتة مثل الكثافة الكلية للون الأسود ، وبذلك ننتهى إلى انتشار هذه الكمية على طول المنظومة وهى تتطور كما هو مبين فى شكل (٤٩) .

شكل(٤٩)
يبين الشكل أنه لكل خلية فى كل خطوة يكون مستوى اللون الرمادى مساويا لمتوسط قيمته للخلية السابقة وخليتين من الخلايا المجاورة وهكذا تظل قيمة الأمود ثابتة ولكن تتوزع بشكل منتظم على طول المنظومة

شىء آخر يمكن أن يحدث أن تتطور إلى حالات منفردة منتظمة ولكن اختيار أى هذه الحالات يعتمد على القيمة الكلية لكمية معينة كما هو واضح فى شكل (٥٠) .

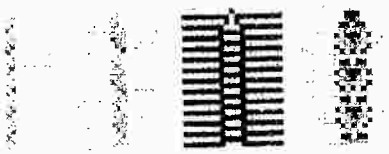


شكل(٥٠)
حسب الشروط الابتدائية يمكن للأوتوماتا الخلوية أن تتطور إلى أبيض أو أسود كما هو مبين فى الشكل

تأتى التكرارية كثانى آلية للسلوك البسيط وهذه تعنى عودة النظام لحالة معينة كما هو مبين فى شكل (٥١ أ)

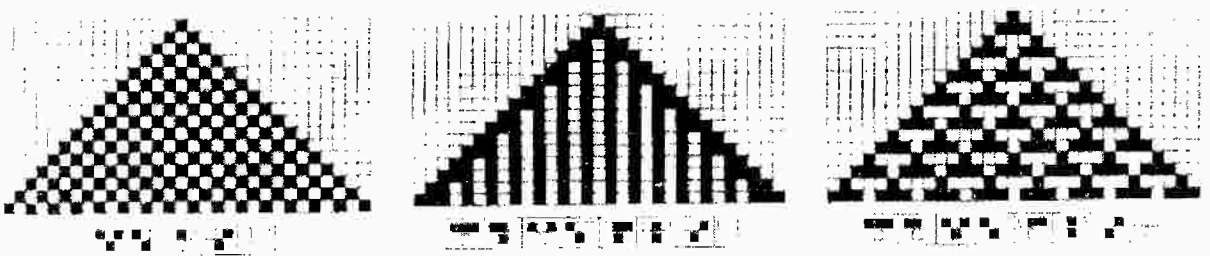
شكل (٥١ أ)
سوف يكون سلوك المنظومة تكراريا عندما تتبع مسارا على شكل دائرة كما هو مبين فى الشكل

بالنسبة للأوتوماتون الخلوى تعنى التكرارية أنه فى حالته النهائية لا يمكن أن يتعدى حدودا معينة كما هو مبين فى الشكل (٥١ ب) .



شكل (٥١ ب)
أمثلة من الأوتوماتا المتحركة التى تبقى محصورة فى نطاق معين وهكذا وبالضرورة تحدث التكرارية

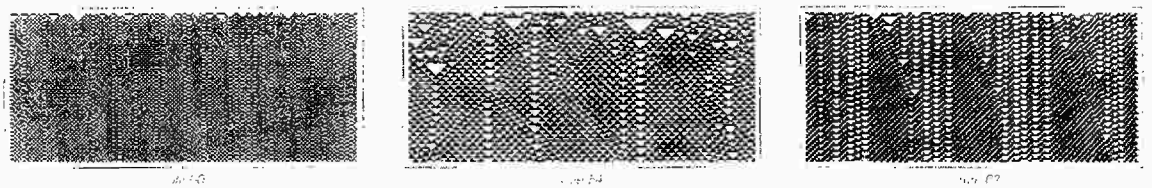
يؤدى النمو من بذرة بسيطة إلى ظهور التكرارية فى الفراغ والزمان كما هو مبين فى شكل (٥١ جـ) .



شكل (٥١ جـ)
الأوتوماتا الخلوية التى تفضى إلى تكرارية فى المكان والزمان نتيجة تطورها من بؤرة بسيطة

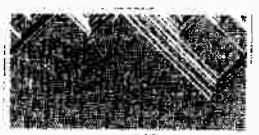
ولكن ماذا عن الشروط الابتدائية العشوائية : إن التكرارية فى الزمان يسهل الحصول عليها . أما التكرارية فى المكان فتحتاج لجهد أكبر لتحقيقها .

فى شكل (٥٢ أ) نرى كيف تظل هناك حوائط بين المناطق التكرارية .



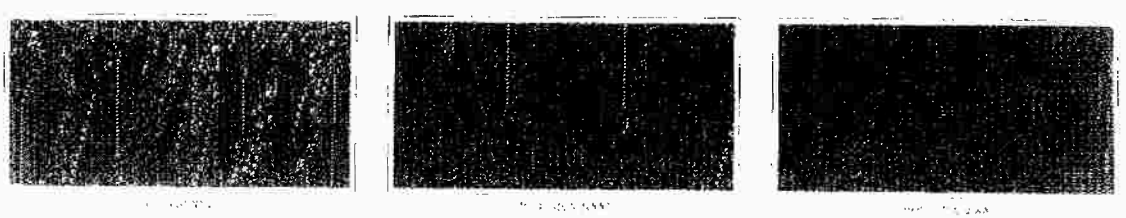
شكل (٥٢ أ)
أوتوماتا خلوية تفصل حوائط بين مناطقها التكرارية

وأحياناً تتفاعل المناطق وتتحد كما هو مبين فى شكل (٥٢ ب) .



شكل (٥٢ ب)
أوتوماتا خلوية تتحد فيها المناطق التكرارية لتكون منطقة واحدة وبسرعة (القاعدة ١٨٤)

فى أحيان أخرى يحدث هذا ببطء شديد كما هو مبين فى شكل (٥٢ جـ).



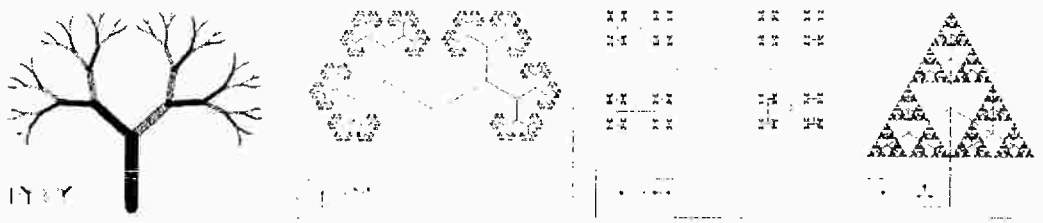
شكل (٥٢ جـ)
سلوك القاعدة (١١٠) من شروط ابتدائية عشوائية وتبدأ المناطق التكرارية معزولة ثم تتحد وتكون منطقة واحدة

يمثل تكون الأشكال المتداخلة الفرع الثالث من الانتظام . يمكن وصف تكون الأشكال المتداخلة نتيجة الانقسام الذى يحدث لكل عنصر إلى عناصر أصغر فأصغر حسب قاعدة معينة .

فى شكل (٥٣ أ) نرى كيف تنقسم العناصر فى نظم الإحلال إلى عناصر أصغر فأصغر وتتكون بسهولة الأشكال المتداخلة .

شكل (٥٣ أ)
يبين الشكل كيفية تكون الأشكال المتداخلة فى نظم الإحلال فى بعد واحد وبعدين
من خلال انقسام العناصر إلى قوالب من عنصر أصغر فأصغر

بنفس الطريقة تتكون الأشكال المتداخلة عندما يتفرع كل عنصر إلى عناصر أصغر فأصغر لتكون أشكالا شبيهة بالشجرة كما هو مبين فى شكل (٥٣ ب) .



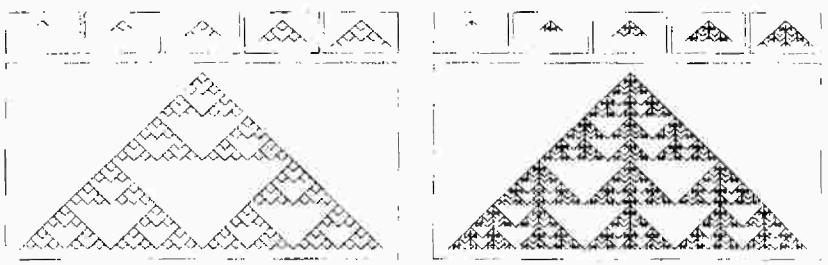
شكل (٥٣ ب)
تكون الأشكال المتداخلة عن طريق تفرع العناصر

ولكن ما الذى يجعل المنظومة تفعل هذا فى الطبيعة ؟ جزئياً يمكن أن نصف ذلك بأن نفس القواعد الأساسية تسرى بصرف النظر عن المقياس (scale) . ولكن هذا كان لابد أن يؤدى إلى النمو الانتظامى أو الحلزونى وليس إلى الأشكال المتداخلة. لكى تتكون الأشكال المتداخلة لابد وأن تتم عملية انقسام أو تفرع بحيث تتولد عناصر مميزة من عنصر واحد منفرد .

من المصادر الهامة لتكون الأشكال المتداخلة ما ينتج عن المتتاليات الرقمية للأعداد المتتالية – ذلك فى الرياضيات كما هو مبين فى شكل (٥٤ أ) .

شكل (٥٤ أ)
الأشكال المتداخلة التى تتكون حسب القاعدة (٩٠)
والقاعدة (١٥٠) للأوتوماتا الخلوية التجميعية والتى تبدأ من خلية سوداء واحدة

ثبت أنه يمكن الحصول على نفس الأشكال المتداخلة كما هو مبين فى شكل (٥٤ ب) عن طريق عمليات تتفرع فيها العناصر بعد فترات منتظمة وتتلاشى عندما تنتظم .

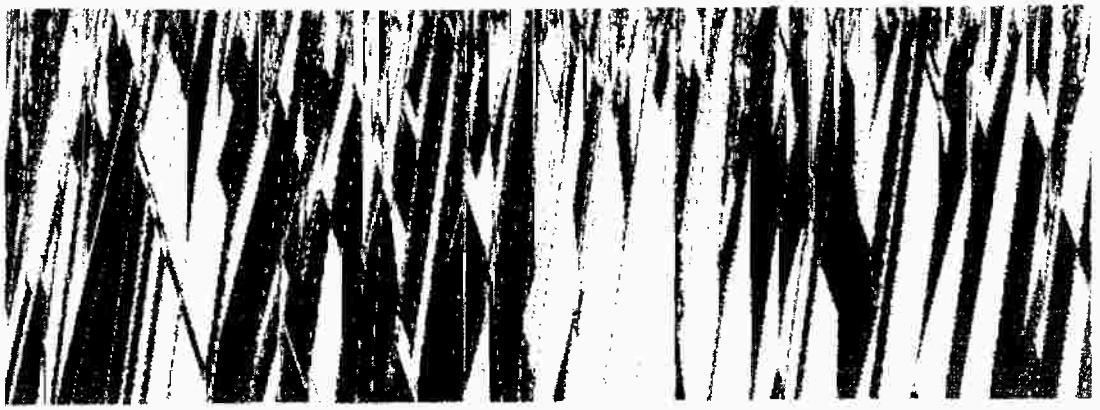


شكل (٥٤ ب)
الأشكال المتداخلة الناتجة عن تفرع اثنين أو ثلاث أفرع
تتكون بعد فترات منتظمة وتتلاشى عند تصادم زوج منها

ولكن ماذا عن دور الشروط الابتدائية العشوائية ؟ يمكن أيضاً أن تتكون الأشكال المتداخلة إذا كانت الآلية الرئيسية هى التلاشى المتتالى للعناصر التى تكون موزعة فى البداية توزيعا عشوائيا كما فى شكل (٥٥ أ) .

شكل (٥٥ أ)
تكون أشكال متداخلة حسب القاعدة (١٨٤) والتى بدأت بشروط ابتدائية عشوائية ،
بدأت بعدة شرائط ، سلط عليها الضوء فى الشكل الثانى ثم تفرعت فى الشكل الثالث .
الشروط الابتدائية هى تساوى الخلايا البيضاء والسوداء بالضبط مما يتسبب فى تلاشى الشرائط .

فى شكل (٥٥ ب) نرى تكون أشكال متداخلة حسب القاعدة (١٨٤) بشروط ابتدائية عشوائية .

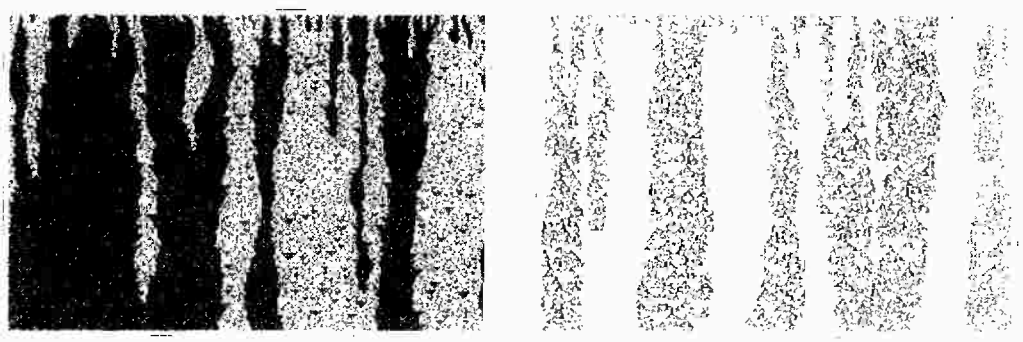


شكل (٥٥ ب)
عرض مضغوط بدرجة عالية لتطور أوتوماتا خلوية حسب القاعدة ١١٠
من شروط ابتدائية عشوائية حيث تؤخذ عينة من كل قالب مكون من ١٤ × ٧ من العناصر

إن أخذ عينة من كل قالب يحوى ١٤ × ٧ من العناصر يؤدى إلى أن كل منطقة تكرارية تنتهى إلى حالة من اللون الواحد .

إذا نظرنا فى تفاصيل ما يحدث نجد أنه عند مستوى كلى فى المتوسط فإن هذه البنيات تميل إلى أن تلاشى إحداهما الأخرى وتكون النتيجة هى تكون الأشكال المتداخلة .

لا يقتصر هذا الوضع على النظم التى تنتهى إلى مناطق منتظمة أو تكرارية وإنما أيضاً إلى تلك التى تعطى مناطق عشوائية كما هو مبين فى شكل (٥٦) .



شكل(٥٦)
يبين الشكل أمثلة على بنيات تحوى مناطق ذات بنيات عشوائية
فى الشكل الثانى يمثل كل عنصر قالبا ٢ × ٢ من الخلايا الأصلية
فى كلتا الحالتين تمثل الحوائط بين المناطق مسيرة عشوائية بحيث تتلاشى عندما تلتقى
وهكذا تتكون الأشكال المتداخلة