الباب الرابع

الفيزياء الأساسية

Fundamental Physics

مشكلات الفيزياء
Problems of Physics

كما رأينا فى الكثير من الأمور التى طرقناها فى الباب السابق أن الكثير من المشاكل التى تمس الحياة اليومية ، يمكن فهم سلوكها بواسطة البرامج البسيطة .

ولكن هل يمكن أن ينطبق ذلك أيضاً على الفيزياء ؟

إن الفيزياء الأساسية تمثل فرعا من المعرفة الإنسانية نجحت الرياضيات التقليدية فى معالجته أكثر من أى فرع آخر ، ولكن رغم كل هذا النجاح تظل هناك مشكلات عديدة لم يتم حلها . فى هذا الباب سوف نحاول أن نتطرق لحل هذه المسائل بناء على ما رأيناه وذلك أيضاً باستخدام البرامج البسيطة .

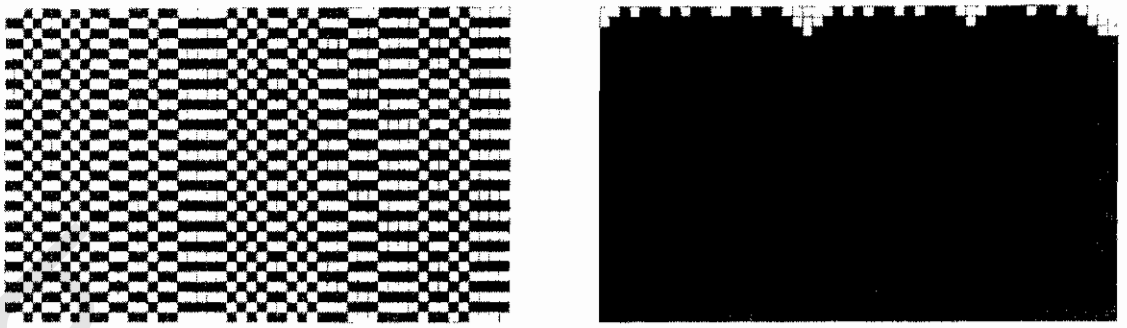
تبدو لأول وهلة أن قوانين الفيزياء معقدة بدرجة أنه يصعب تصور أنه يمكن التعبير عنها بواسطة البرامج البسيطة ، ولكن ومرة أخرى بناء على ما رأينا يمكن أن نقول إن هذا ممكن .

بالطبع القول بأن الكون الذى نعيش فيه يمكن وصفه بواسطة برنامج بسيط لهو تصريح جرئ للغاية ولكنى فى الجزء الثانى من هذا الباب سوف أعرض ما رأيته ما توصلت إليه يعطى الأمل فى ذلك .

فكرة الإنعكاسية
Notion of Reversibility

فى كل برامج الأوتوماتا الخلوية تدل القاعدة على ماذا سيحدث فى البرنامج فى الخطوة القادمة – ولكن ماذا عن ما إذا أردنا أن نعود إلى الوراء ؟ هل يمكن من ترتيب الخلايا السوداء والبيضاء فى خطوة ما معرفة ترتيبها فى الخطوات السابقة ؟ كل قوانين الفيزياء انعكاسية أى أنه بمعرفة وضع النظام فى لحظة ما يمكن أن تستدل على ما سوف يتم فى الخطوة القادمة وكذلك ما تم من خطوات سابقة .

فى شكل (٨٧) نرى شكلين لنوعين من الأوتوماتون الخلوى – يمكن فى الشكل الأول الاستدلال على وضع الخلايا فى الخطوات السابقة ، أما فى الشكل الثانى وبعد خطوات قليلة تصبح كل الخلايا سوداء ولا يمكن معرفة حالتها فى الخطوات السابقة مباشرة .



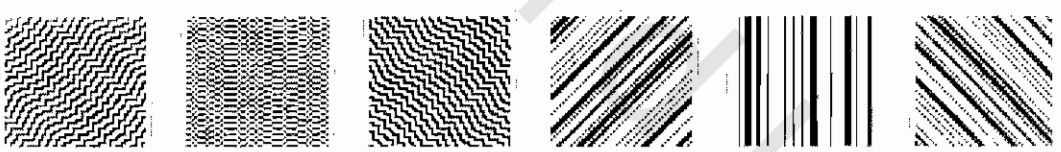
(ب) (أ)

شكل(٨٧)

شكل (أ) يمثل أوتوماتون خلوى انعكاسى وفى الشكل (ب) غير انعكاسى

فى الحياة توجد أمثلة كثيرة على نظم من النوع الثانى أى أنها غير انعكاسية وهذا ما سوف نراه فيما بعد .

إن الهدف الآن هو دراسة أى النظم انعكاسية فى شكل (٨٨) نورد ستا من مثل هذه الأوتوماتا الخلوية الانعكاسية.

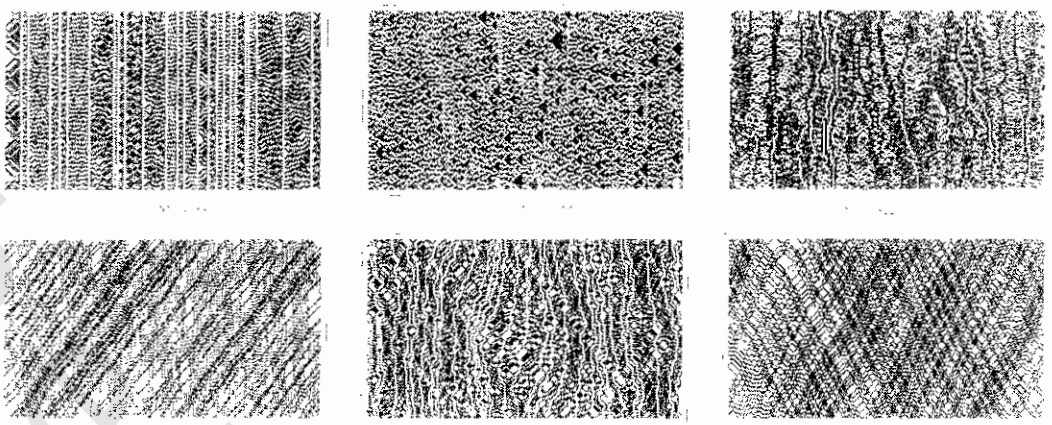


شكل(٨٨)

نظم أوتوماتا خلوية انعكاسية ذات سلوك بسيط نسبيا يمكنها التقدم للأمام وكذلك الرجوع للخلف

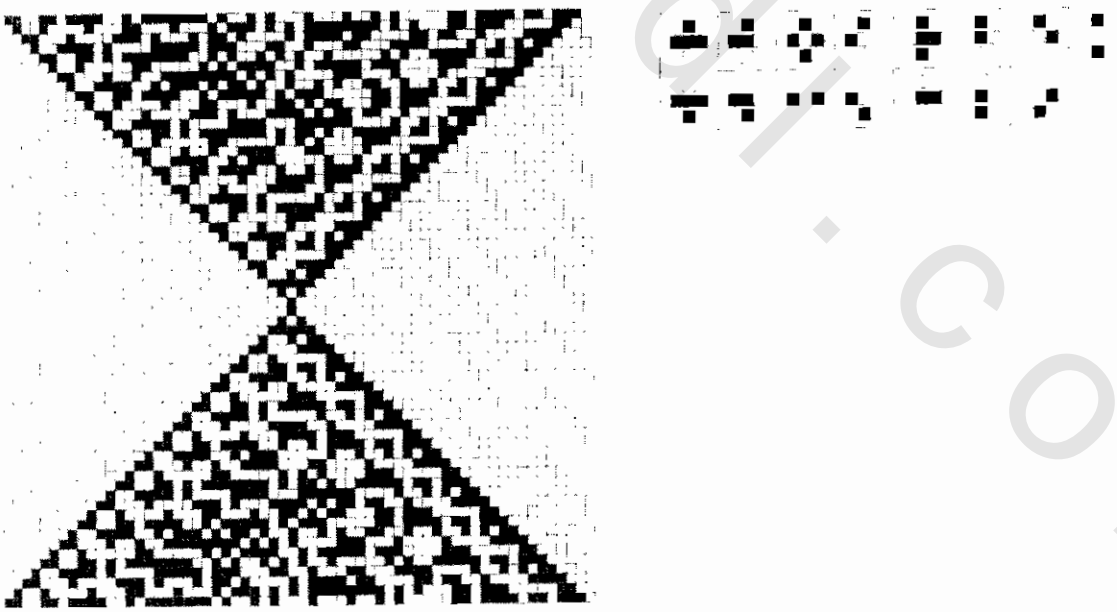
والآن هل يمكن أن نحصل على سلوك أكثر تعقيدا مع الاحتفاظ بالانعكاسية؟

لقد وجدت أنه يوجد ٧,٦٢٥,٥٩٧,٤٨٤,٩٨٧ أتوماتون خلوى ذو ثلاثة ألوان وقواعد للخلايا الأقرب المجاورة ككل . بالبحث بين هذه الأوتوماتا الخلوية وجد أن منها ١٨٠٠ أوتوماتون خلوى انعكاسى ، بعضها ذو سلوك بسيط مثل تلك المبينة فى شكل (٨٨) وبعضها ذو سلوك معقد كما هو مبين فى شكل (٨٩) .



شكل(٨٩)
أمثلة من ١٨٠٠ أتوماتون خلوى انعكاسى ذوى سلوك معقد مع القواعد المصاحبة لها

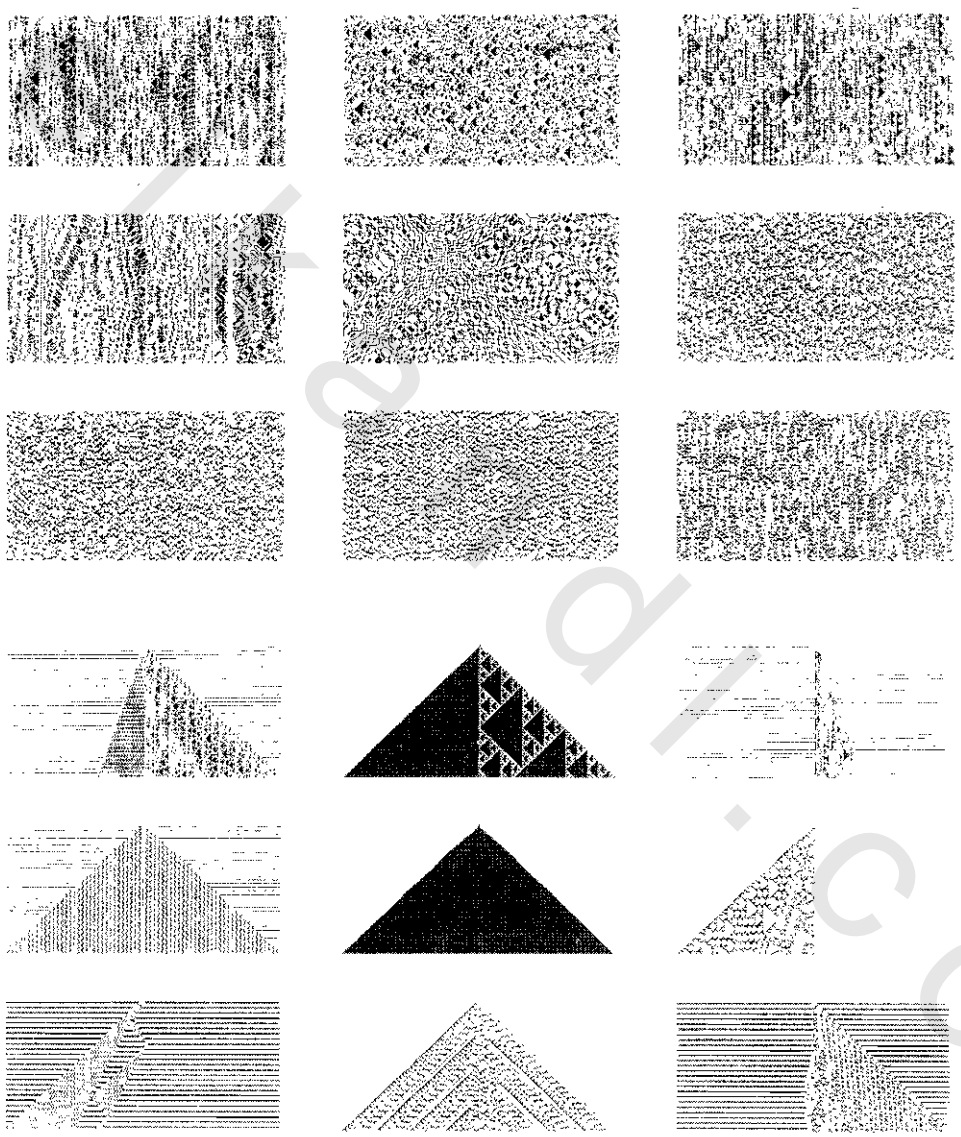
إن البحث عن هذه الأوتوماتا الخلوية الانعكاسية عملية شاقة لذا لابد من التوصل لقاعدة يمكن بها الحكم على مدى انعكاسية النظام . من أفضل هذه القواعد اختيار تلك النظم التى يمكن عكسها بشكل واضح ومباشر مثل ذلك المبين فى شكل (٩٠) .



شكل(٩٠)
أتوماتون خلوى انعكاسى . من الواضح على الشكل أنه يمكن عكس أوضاع الخلايا السوداء فيمكن قلب الصفحة من أعلى إلى أسفل

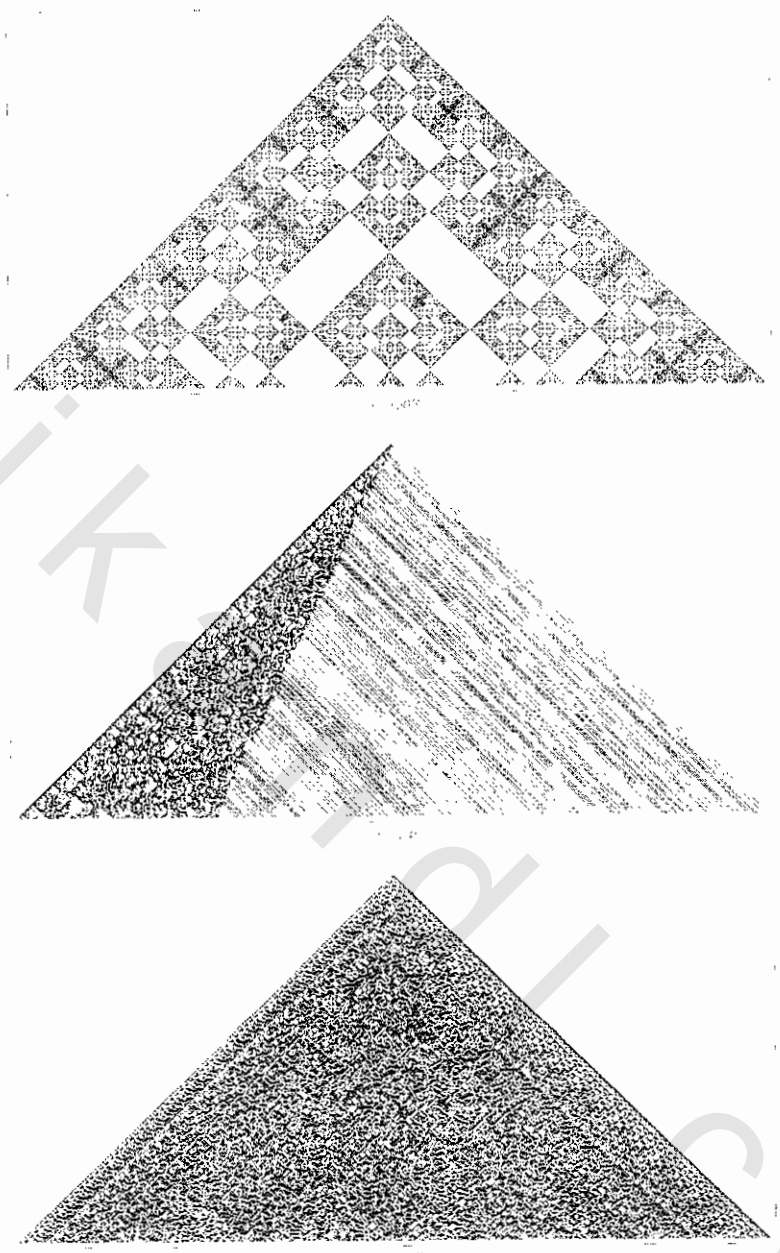
تتأتى هذه القواعد بأخذ الأوتوماتا الخلوية البسيطة ثم إضافة اعتماد اللون على خطوتين سابقتين ، وهكذا يمكن أن يعمل الأوتوماتون الخلوى إلى الأمام وإلى الخلف.

فى شكلى (٩١ ، ٩٢) : نرى أمثلة لأتوماتا خلوية تبدأ من شروط ابتدائية بسيطة وعشوائية .



شكل(٩١)

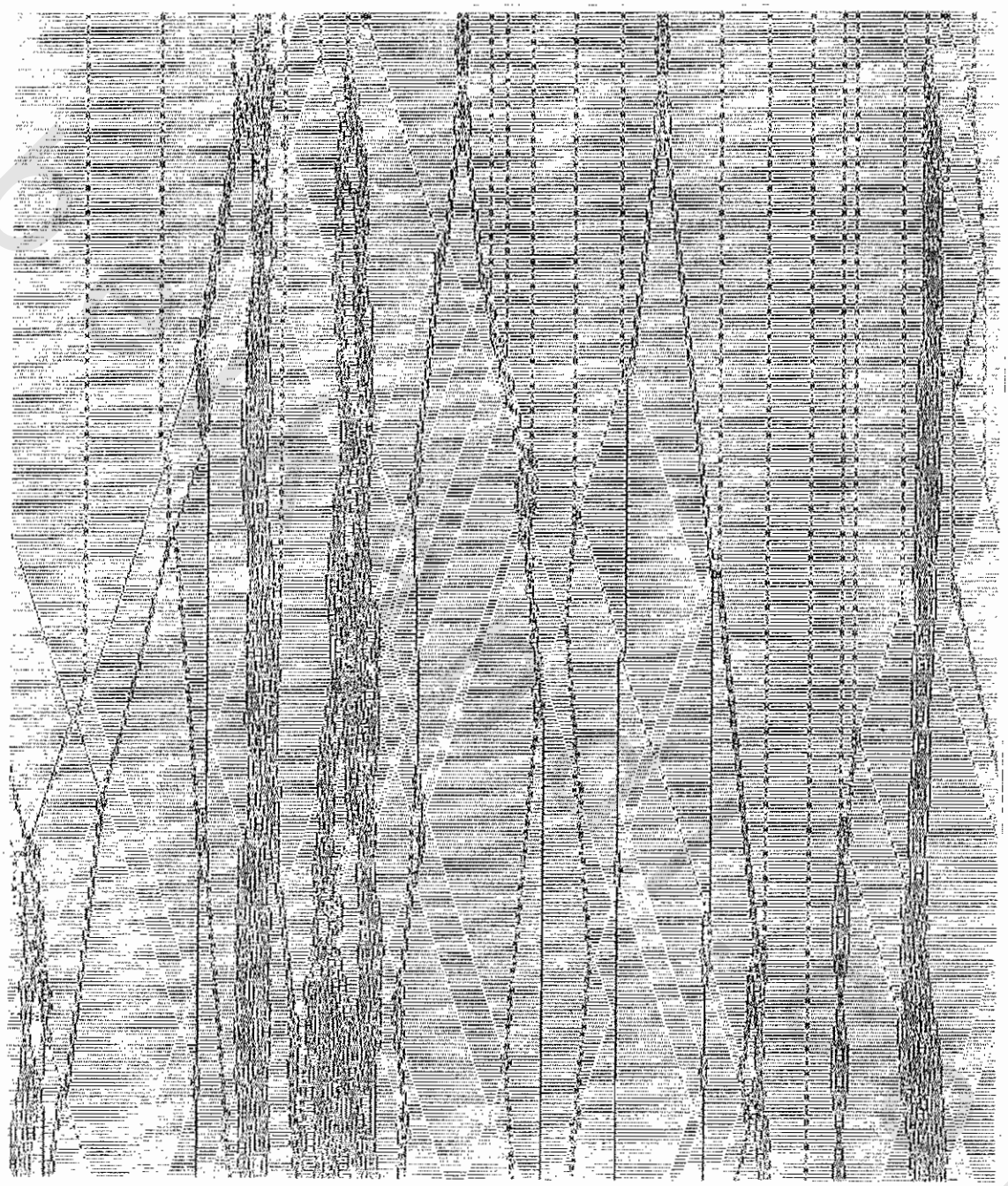
أمثلة لأوتوماتا خلوية تبدأ من شروط ابتدائية بسيطة وأخرى عشوائية ومبين مع كل منها القاعدة المستخدمة



شكل(٩٢)

ثلاث أوتوماتا خلوية انعكاسية بعد ٣٠٠ خطوة

الشكل الأول يظهر الأشكال المتداخلة ، فى الشكلين الثانيين تظهر العشوائية بشكل واضح



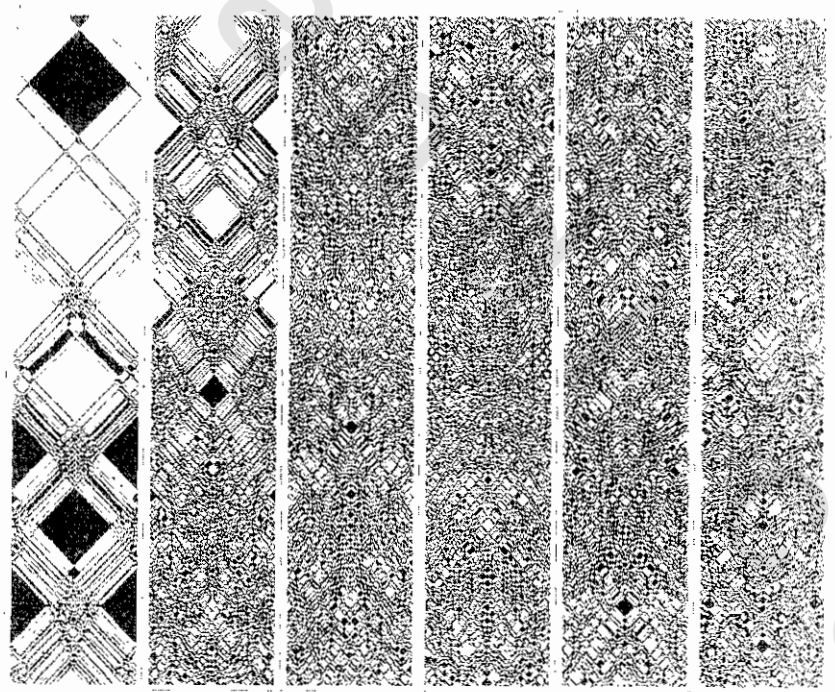
شكل(٩٣)
أوتوماتون خلوى انعكاسى يحوى تجمعات وذلك لأنه لابد أن يحدث تصادم
إذا استبدلت حالته الأولية بحالته النهائية والعكس صحيح بنفس القدر

فى كثير من الأحوال تكون الأشكال بسيطة أو متداخلة ولكن فى بعضها الآخر نحصل على أشكال عشوائية وتظهر تجمعات كما هو مبين فى شكل (٩٣) .

فى النهاية ورغم أن عدد الأتوماتا الخلوية التى لها خاصية الانعكاسية إلا قليل أنها تظهر سلوكا بعضه بسيط والآخر شديد التعقيد مثلها مثل أية أتوماتا خلوية أخرى.

اللاإنعكاسية والقانون الثانى للديناميكا الحرارية: Irreversibility and The Second Law of Thermodynamics

من الواضح أنه فى فيزياء الجسيمات تكون كل قوانين الفيزياء انعكاسية. ولكن من الخبرة اليومية نعلم أن هناك العديد من الظواهر لا انعكاسية تماماً . فى شكل (٩٤) نرى رسما يبين سلوك نظام أتوماتون خلوى حيث تماثل الخلايا جسيمات تتصادم مع بعضها البعض وتتفاعل أثناء هذه التصادمات .



شكل(٩٤)
يبين الشكل كيف تبدأ الخلايا متجمعة فى مركز الصندوق وبالتدريج يصبح التوزيع عشوائياً حسب القاعدة 122R النظام محدود بعدد ١٠٠ خلية .

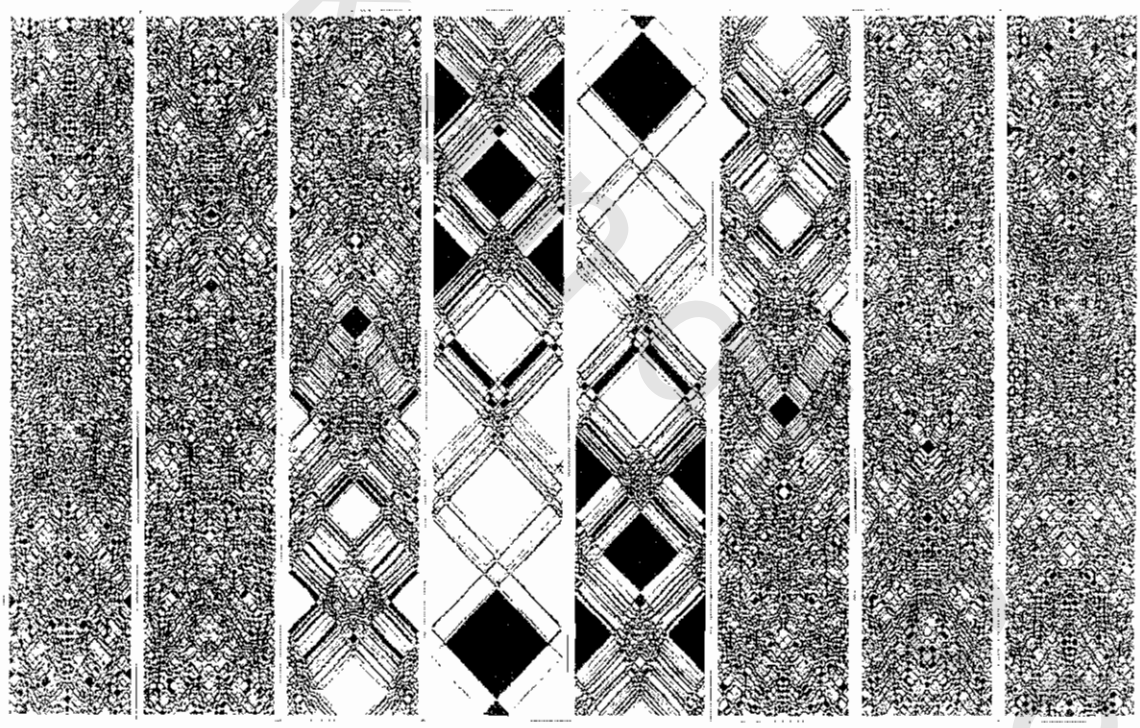
ولكن ماذا عن الانعكاسية ؟ إن القواعد التى يعمل على أساسها هذا الأوتوماتون هى انعكاسية من ناحية المبدأ . لكن الشكل لا يوحى بأية انعكاسية .

إن حل هذه المعضلة سهل ومباشر .

كما نرى فى شكل (٩٥) تتحول العشوائية إلى انتظام فى منتصف الشكل ، وهنا نرى الانعكاسية .

لكن ما زال هناك سر فى هذا السلوك . فى الواقع والحياة لا نرى أية طواهر حيث تقل العشوائية وتتحول إلى انتظام .

لكن إذا وضعنا شروطا ابتدائية مناسبة فإننا نحصل على سلوك كما هو مبين فى شكل (٩٥) .



شكل(٩٥)
يبين الشكل صورة ممتدة للصورة المبينة فى شكل (٩٤)
لقد اختيرت الشروط الابتدائية بعناية بحيث تقل العشوائية حتى منتصف الشكل
ثم تزيد مرة أخرى سواء كان التحرك للأمام أو للخلف

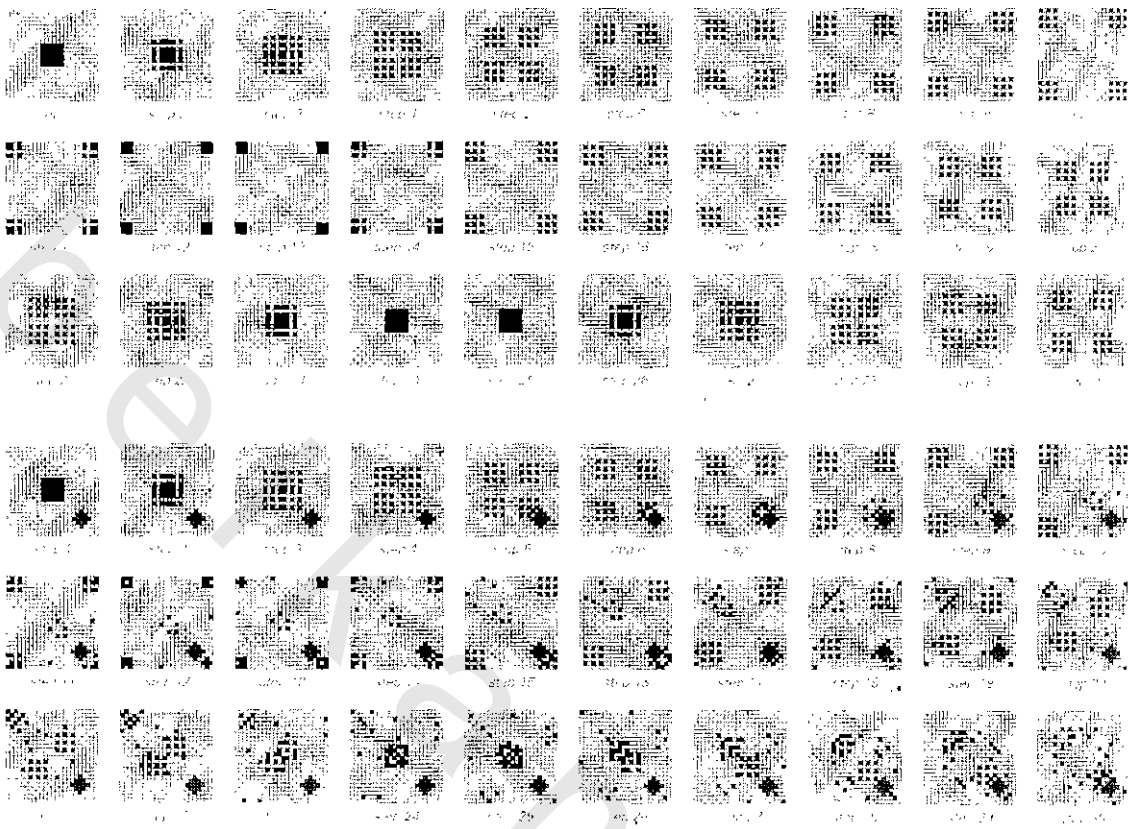
ولكن مثل هذه الشروط الابتدائية لا تحدث فى الواقع والحياة بصفة عامة .

النقطة الأساسية هى أنه بالضرورة عند تصميم أى تجربة فإننا نضع الشروط الابتدائية البسيطة التى يمكن أن نفهمها ونصفها . بمثل هذه الشروط الابتدائية سوف نلاحظ أن العشوائية تزيد دائماً فى أى تجربة نجريها . الحل هو أن ننظر إلى كل هذه العمليات أنها مجرد حسابات . فى هذه الحالة إذا بدأنا بوضع بسيط للنظام ثم تتبعنا أوضاعه ولكن إلى الخلف سوف نشاهد نقصان العشوائية ويمكن أن نصل إلى الشروط الابتدائية التى تؤدى إلى مشاهدة هذا النقصان فى الواقع . لكن وبناء على ما سيرد من «مبدأ التكافؤ الحساباتى» أنه لا توجد مثل هذه الطريقة فى الواقع.

وهكذا نرى أنه فى كل التجارب المعقولة ، لا يمكن أن نضع شروطا ابتدائية يمكنها أن تؤدى إلى نقصان العشوائية – وبذا تؤدى كل التجارب الحقيقية إلى زيادة العشوائية .

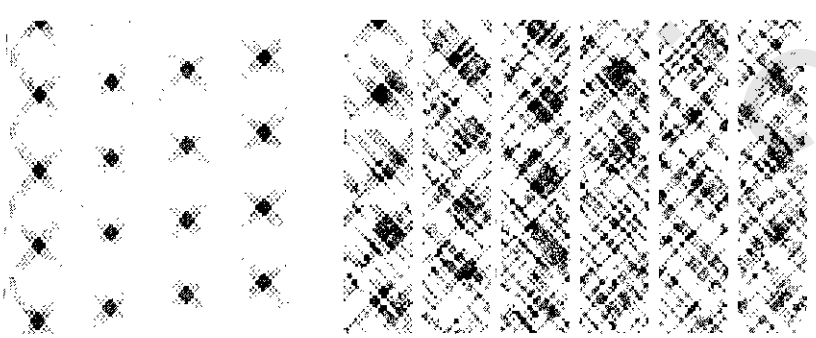
وهكذا نرى أن القانون الثانى للديناميكا الحرارية صحيح ويصف ما يحدث فى الواقع ، ورغم صحته فإنه لا توجد أصول منطقية لتفسير لماذا هو صحيح .

فى شكل (٩٦ أ) نورد رسوما لأوتوماتون خلوى فى بعدين تمثل فيه الخلايا السوداء جسيمات تتحرك بحرية وتتصادم بعضها مع البعض مثل جزيئات الغاز وبالطبع فهو انعكاسى وبالطبع يظل عدد الجسيمات ثابتا فى كل تصادم . طالما لكل جسيم طاقة مرتبطة به فإن مقدار الطاقة الكلية يظل ثابتا . نلاحظ أن الشكل يتميز بالتكرارية والبساطة .



شكل (٩٦أ)

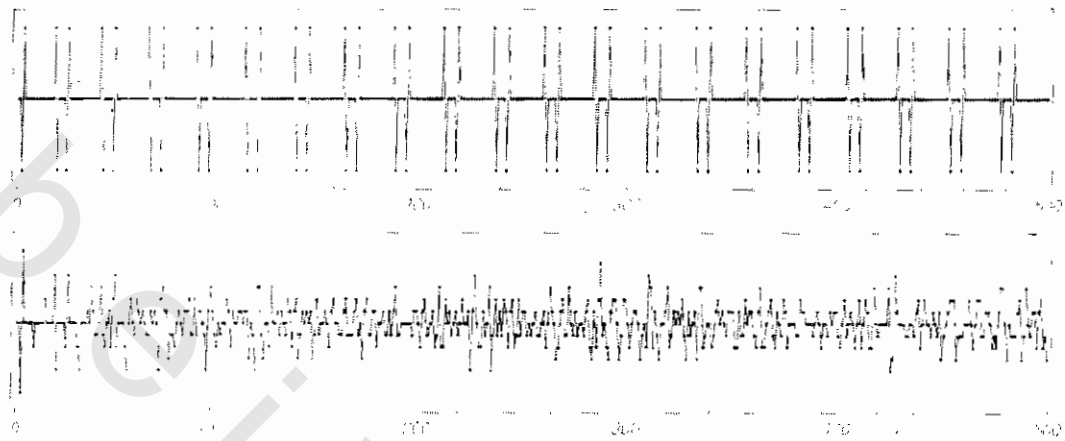
يبين الشكل سلوك أوتوماتون خلوى فى بعدين يحاكى حركة جزيئات غاز
فى الشكل العلوى تتحرك الخلايا فى صندوق فارغ . فى الرسوم السفلى يحوى الصندوق عائقا صغيراً مثبتاً .
فى الحالة الأولى نرى الرسوم تحمل طابع التكرارية والبساطة . وفى الحالة الثانية تزداد العشوائية مع الزمن



شكل (٩٦ ب)

يبين الشكل كيف تتغير الرسوم فى شكل (٩٦ أ) مع الوقت الحالة (أ) : تحاكى صندوقا فارغا . الحالة (ب) تحاكى صندوقا يحوى عائقا مثبتا
فى الحالة الثانية نلاحظ حلول العشوائية بسرعة . هذه الرسوم تمثل الشكل بعد ١٠٠ خطوة من تطور المنظومة

فى شكل (٩٧) نرى سلوك القوة الناتجة عن مثل هذه الحركة فى هذا النظام .



شكل(٩٧)

(أ) فى الحالة الأولى يمكن توقع مقدار القوة واستغلالها لبذل شغل مفيد .

(ب) فى الحالة الثانية يستحيل الحصول على شغل نظرا لعشوائية القوة الناتجة .

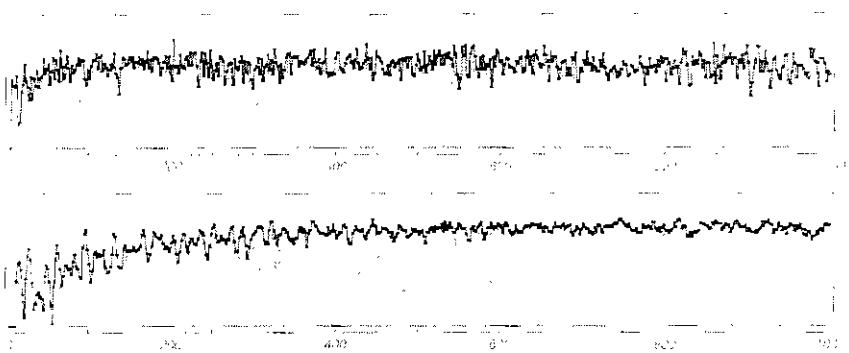
هل يمكن بناء آلة مهما كانت معقدة لاستغلال هذه القوة العشوائية ؟ فى هذه الحالة لابد أن تجرى الآلة حسابات معقدة جداً لكى تحدد اتجاه هذه القوة وبالتالى تتمكن من استغلالها . هذه الحسابات معقدة للغاية وخارج نطاق أى آلة فعلية – لذا فإن القانون الثانى صحيح ولا يمكن بناء الآلة الدائبة من النوع الثانى(*) .

عندما يحوى النظام عدداً كبيراً جداً من الجسيمات فمن المستحيل قياس عدد وموضع كل جسيم فى لحظة زمنية معينة ، ولذلك ونظراً للحركة الدائمة والتصادمات تتغير أوضاع كل الجسيمات وبالتالى مع كل لحظة تزيد كمية المعلومات غير المعروفة عن النظام وبالتالى تزداد الانتروبية باضطراد كما يشير القانون الثانى للديناميكا الحرارية .

فى شكل (٩٨) نرى كيف تتغير انتروبية مثل هذا النظام وتزداد بشكل مضطرد. من الواضح أنه مع مرور الوقت تزداد العشوائية ، وحتى لو فكرنا فى تجارب لإجراء قياسات لمواضع كل الجسيمات ، سوف يحتاج ذلك لعمليات حسابية معقدة جداً بحيث تصبح غير عملية أو غير ممكنة على الإطلاق .

(*) الآلة الدائبة من النوع الثانى هى الآلة التى تناقض القانون الثانى وتعتمد فكرتها على أن الآلة تبرد نفسها بنفسها وتحول الحرارة الناتجة إلى شغل . الآلة الدائبة من النوع الأول هى الآلة التى تعطى شغلا دون أن تحتاج لطاقة أى تناقض القانون الأول وهى أيضاً مستحيلة .

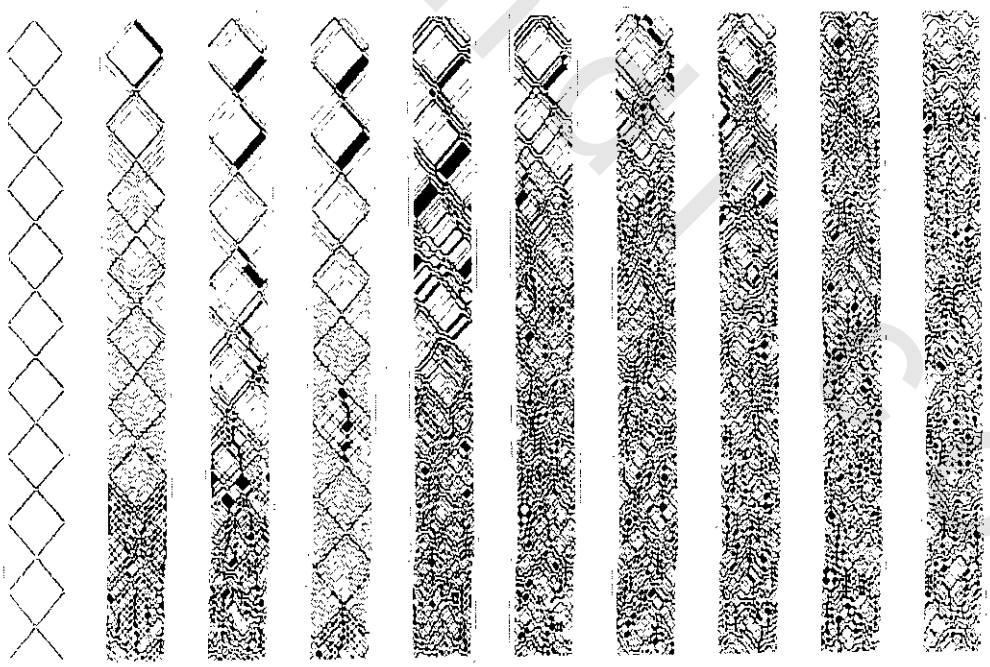
obeikandl.com



شكل(٩٨)

(أ) يبين الشكل العلوى تغير الأنتروبية لنظام من النوع . (ب) فى شكل (٩٦ ب) . فى الشكل السفلى نورد تغير الأنتروبية لنظام أكبر ثلاثة أضعاف ، وذلك لشبيكة ٦ × ٦ فى مناطق من النظام . من المهم هنا أنه لو مددنا الشكل من ناحية اليسار فسوف تزداد الانتروبية بشكل متماثل لما حدث فى ناحية اليمين .

والآن ماذا عن الشروط الابتدائية ؟ كما هو واضح من شكل (٩٩) فإن النظم لا تختلف كثيراً مع تغير الشروط الابتدائية .

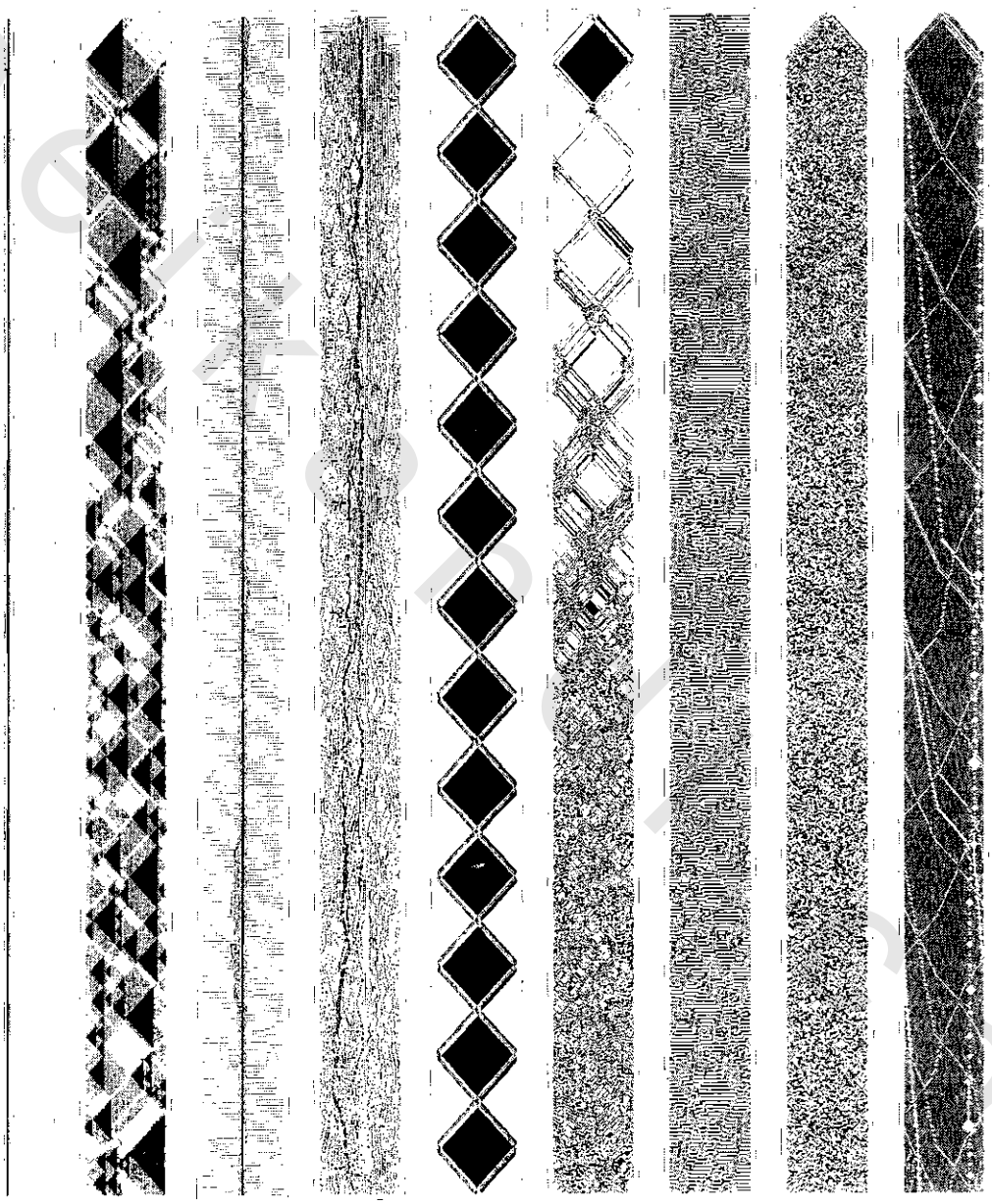


شكل(٩٩)

يبين الشكل نظما ذات شروط ابتدائية مختلفة وكما نرى فيما عدا النظم ذات السمة التكرارية فإن النظم الأخرى تنتهى بحالات متشابهة تقريباً

يمكننا القول بأن القانون الثانى يصف بدقة نظما مثل الغازات ولكن ماذا عن النظم الأخرى ؟

فى شكل (١٠٠) نرى عدداً من الرسوم لأوتوماتا خلوية ولكن وإن كان بعضها يظهر عشوائية واضحة فإن البعض الآخر ليس به عشوائية على الإطلاق .

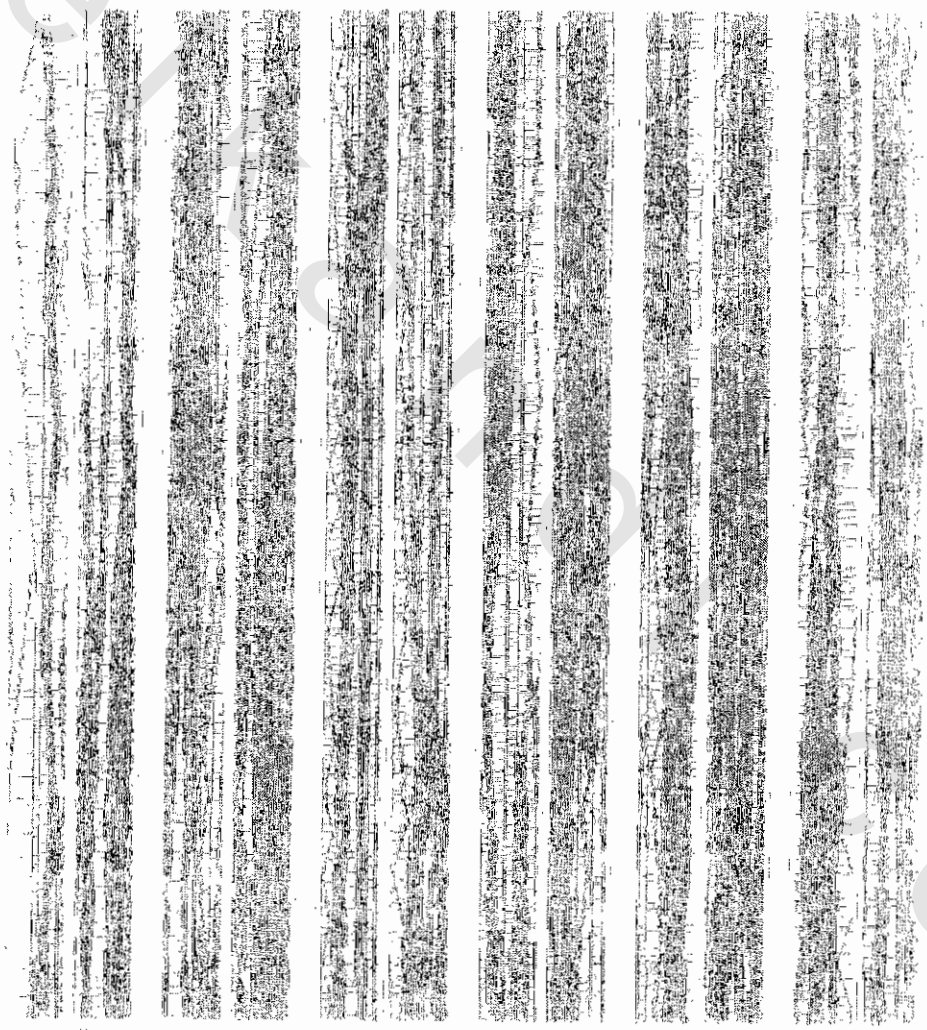


شكل(١٠٠)

أمثلة أوتومات خلوية بقواعد مختلفة. واضح أن بعض النظم تحقق القانون الثانى ولكن هناك البعض الآخر الذى لا يحققه على الإطلاق .

من الرسوم الواردة فى شكل (١٠٠) واضح أن القاعدة 37R لا تخضع للقانون الثانى. والحق يقال لو أن كل النظم قاطبة خضعت للقانون الثانى لعمت الفوضى الكون كله من زمن بعيد. من الواضح أن بعض النظم فى كوننا هذا لا تخضع للقانون الثانى بشكل أساسى، فبعض النظم البيولوجية تظهر نوعا من الاتجاه نحو انتظام أكبر وليس فوضى أو عشوائية. يحدث هذا بمصاحبة انقسام النظام الكبير إلى مناطق أصغر.

فى شكل (١٠١) نرى ماذا يحدث إذا بدأنا القاعدة 37R فى منطقة صغيرة من الفوضى والعشوائية . بعد فترة نرى أن العشوائية ما زالت مهيمنة ، ولكن مع ذلك تحاول المنظومة أن تنتظم لتولد عدداً صغيراً من البنيات التكرارية .



شكل(١٠١)

يبين الشكل أنه مع بقاء واستمرارية العشوائية ينظم النظام نفسه فى عدة مناطق صغيرة عشوائية وتظل تتراوح بين العشوائية والانتظام

الجانب المهم فى هذا الموضوع هو أنه مع ظهور بنيات انتظامية يصعب الحكم على انعكاسية النظام ، أى يصبح النظام داخليا أو فى بعض مناطقه لا انعكاسى.

بالنسبة للكون هذا ما يحدث ، ففى بعض المناطق تحدث زيادة فى الفوضى والعشوائية وفى بعض المناطق الأخرى يحدث تكون مجرات ، نجوم وكواكب مما يعنى ازديادا فى الانتظام .

وهنا نقول إنه بالنسبة للسماح لبعض المعلومات أن تختفى فهذا يناقض القانون الثانى ، ولكن من شكل (١٠١) وعلى الرغم من أن النظام مغلق ولا يسمح بهروب أية معلومات فإن النظام لا يتبع القانون الثانى . ما يحدث هو تكون أغشية بين المناطق ، وفى حدود كل منطقة تحدث عمليات انتظام ، على الأقل طالما بقيت هذه الأغشية حية . إن هذا ما يحدث فعلاً فى النظم البيولوجية حيث تجاهد كل خلية ، أو كل كائن لكى يبقى حيا وبالتالى يحدث به انتظام طالما بقى حيا .

ولكن هل يمكن أن نقول إن مثل هذه الحالات هى حالات انتقالية لا تبقى طويلا ؟ بالنسبة للقاعدتين 0R و 90R فعلا دورة التكرارية قصيرة جداً . لكن بالنسبة للقاعدة 37R فدورة التكرارية طويلة جداً ، وفعلا بالنسبة للمثال الوارد فى شكل (١٠٢) تكون دورة التكرارية ٢٩٣,٢١٦,٢٦٦ .

فى النهاية أجزم بأن هذه القاعدة لا تتبع القانون الثانى إذا تحرينا بعض الدقة .

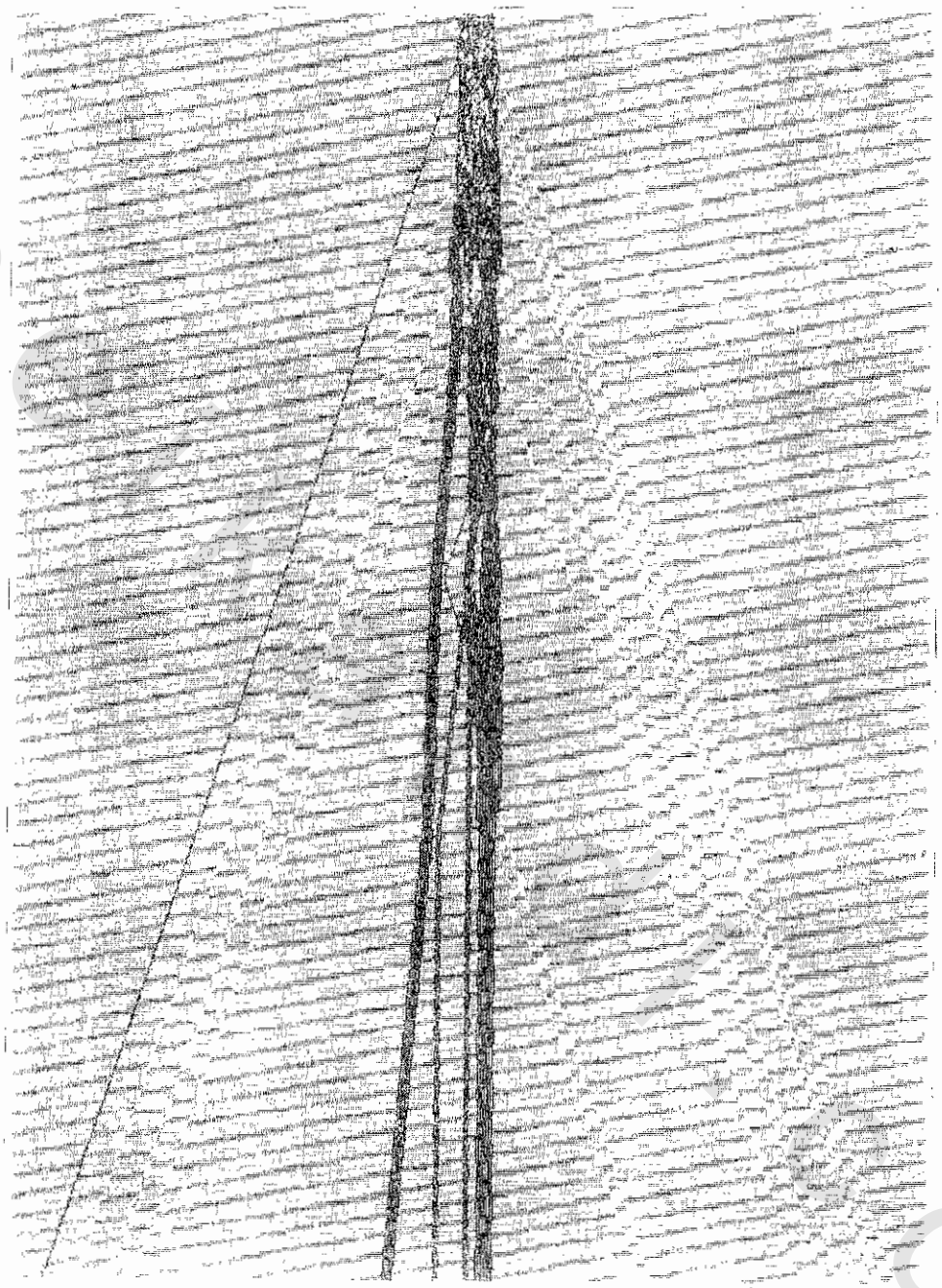
وأخيراً يمكننا القول بأنه يوجد العديد من النظم الأخرى التى لا تتبع القانون الثانى.

بهذا نرى أنه باستخدام البرامج البسيطة وصلنا إلى استنتاجات أن القانون الثانى صحيح ولكن ليس فى كل الحالات وله بعض الحدود فى تطبيقه .

بالإضافة للانعكاسية كسمة أساسية لقوانين الفيزياء فإن هناك سمة أخرى هى انخفاظ كميات أخرى مثل الطاقة ، كمية الشحنة الكهربية وغيرها والتى ولابد وأن تظل ثابتة .

الكميات المنخفظة والظواهر التى تحدث فى الفراغ الاستمرارى:
Cmserveed Quantities and Continuum Phe-momena

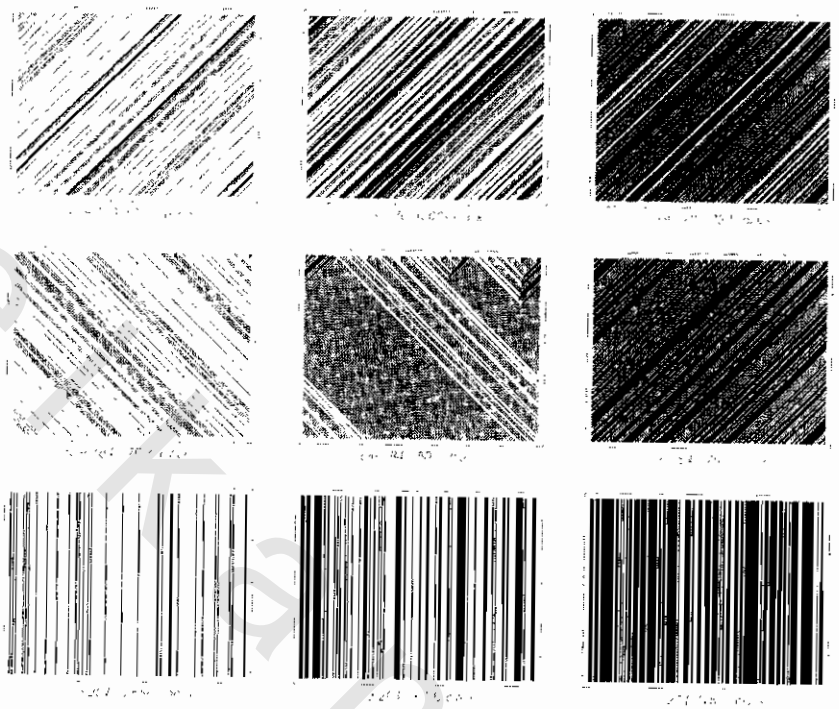
بالنسبة للأوتوماتا الخلوية فإنها عادة لا تحوى مثل هذه السمات الانخفاظية . ولكن كما حدث مع الانعكاسية يمكن أن نجد بعض القواعد التى تحقق قوانين الانخفاظ ، فمثلا فى بعض هذه الأوتوماتا الخلوية ، يمكن أن يظل عدد الخلايا السوداء ثابتا فى كل خطوة .



شكل(١٠٢)

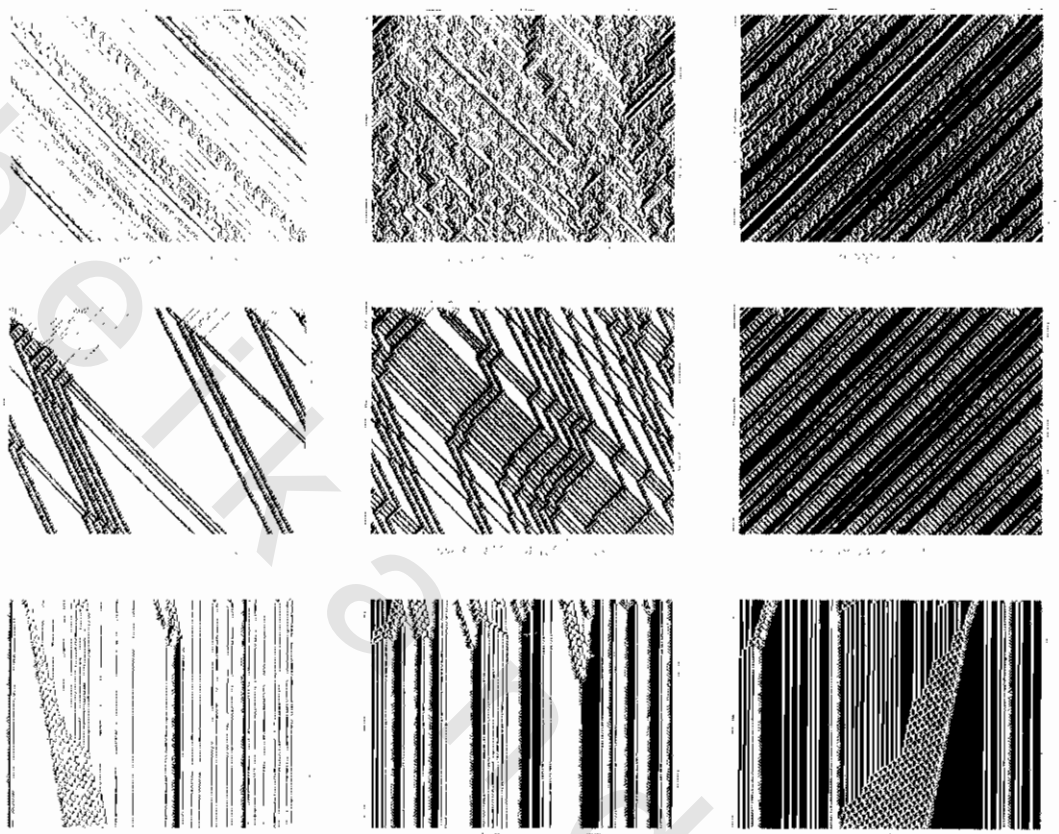
يبين الشكل مثالا على تطور نظام حسب القاعدة 37R مع شروط ابتدائية عشوائية تماماً .
ورغم أن النظام انعكاسى ، يميل النظام إلى انتظام حتى يأخذ أبسط شكل ممكن
تحمل البنيات المحدودة المعلومات من الشروط تبدأ الابتدائية وتبدأ فى بثها إلى الخارج

فى شكل (١٠٣) نورد أمثلة لمثل هذه الأوتوماتا الخلوية .



شكل(١٠٣)
أمثلة على الأوتوماتا الخلوية التى تحفظ عدد الخلايا السوداء فى كل خطوة
واضح من الشكل مدى بساطة السلوك بحيث يتحقق شرط ثبوت عدد الخلايا السوداء

فى شكل (١٠٤) نورد أمثلة أخرى للأوتوماتا الخلوية التى تحمل سمة الجيران – الأقرب .

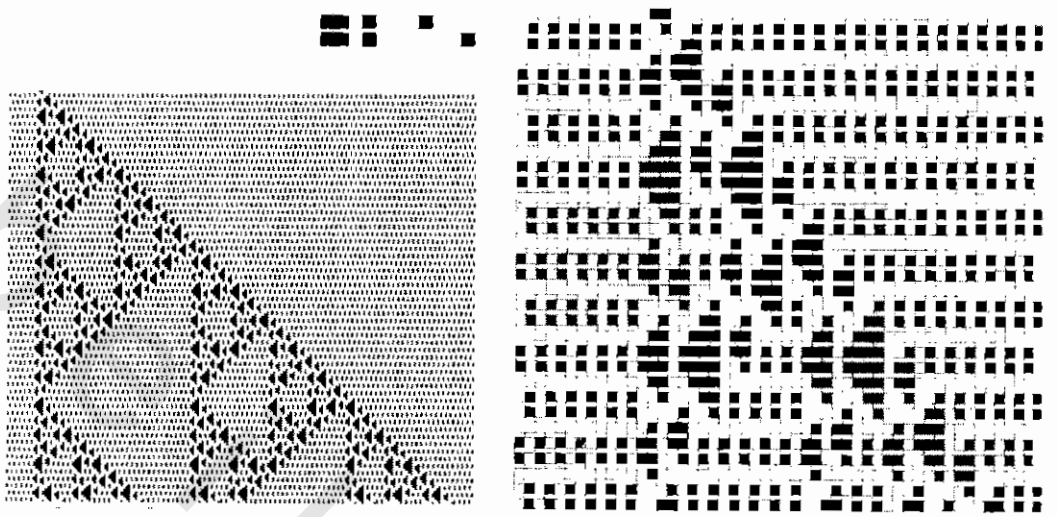


شكل(١٠٤)

أمثلة على الأوتوماتا الخلوية من نوع الجيران – الأقرب والتى تحفظ عدد الخلايا السوداء ثابتا فى كل خطوة . من كل الأوتوماتا الخلوية ذات السمة الجيران – الأقرب والتى يبلغ عددها ٢٩٦ ,٩٦٧, ٢٩٤, ٤ يوجد فقط ٤٢٨ تحقق هذا الشرط

من الأفضل استخدام الأوتوماتا الخلوية القالبية "Block Cellular Antomata" والتى يحدث فيها استبدال قالب من الخلايا بقالب آخر حسب قواعد معينة . وفى الخطوة التالية تحدث إزاحة لهذا القالب خلية واحدة .

فى شكل (١٠٥) نرى مثالا لهذه الأوتوماتا الخلوية القالبية .

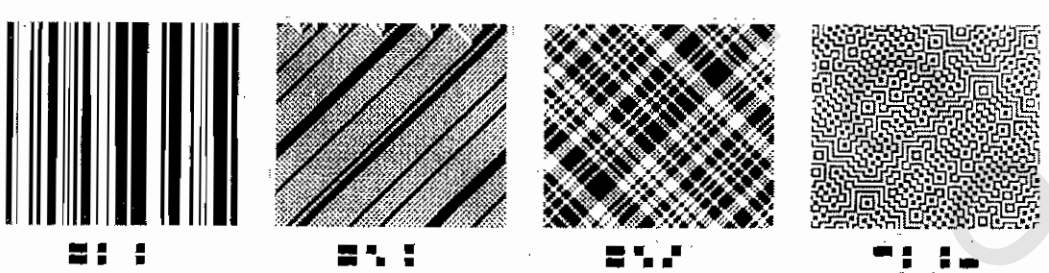


شكل(١٠٥)

مثال على الأوتوماتا الخلوية القالبية حيث يتم نقل قالب من خليتين .

هذا الأوتوماتون انعكاسي ولكنه لا يحفظ عدد الخلايا ثابتا .

فى شكل (١٠٦) نعطى مثالا لأوتوماتا خلوية قالبية والتى تستبدل قالبا من عدد معين من الخلايا بقالب آخر . السمة الأساسية أن هذا الأوتوماتون يحفظ عدد الخلايا السوداء ثابتا .

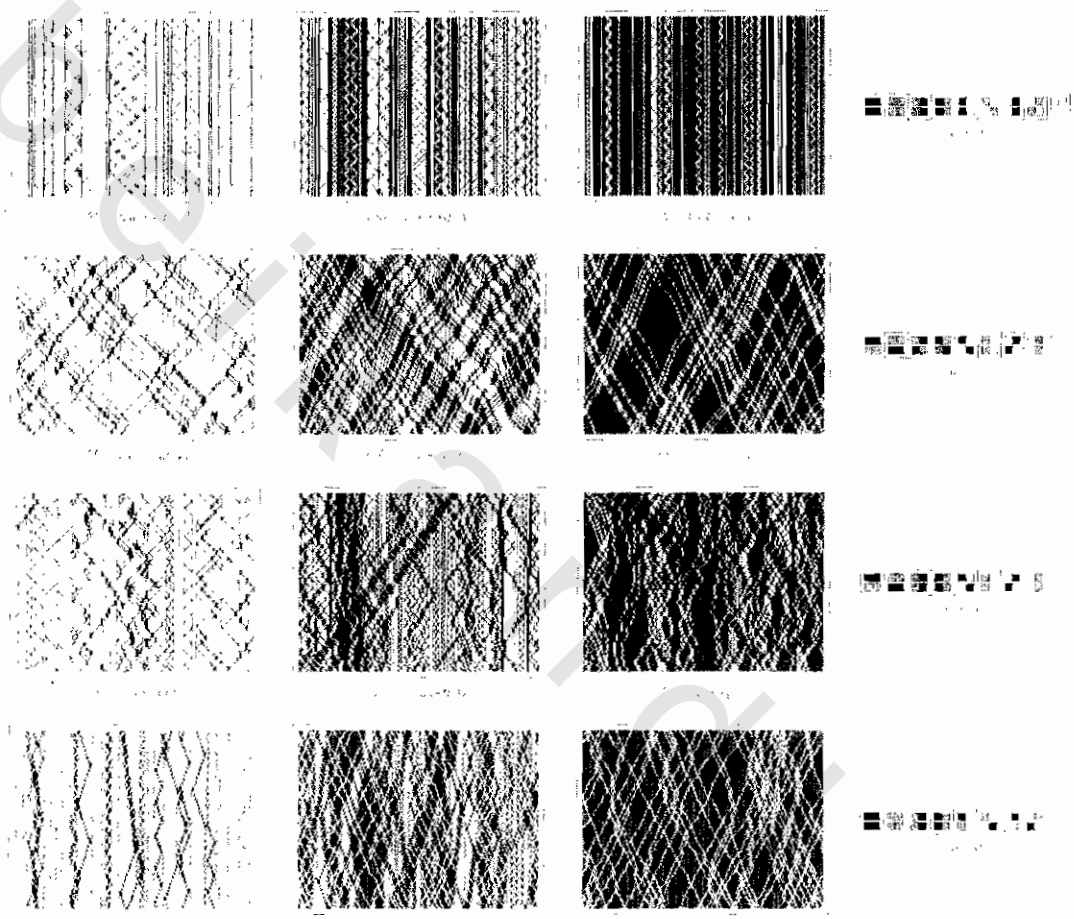


شكل(١٠٦)

أوتوماتا خلوية قالبية تحفظ عدد الخلايا السوداء ثابتا فى كل خطوة .

كل هذه الأوتوماتا ما عدا الثانى انعكاسية

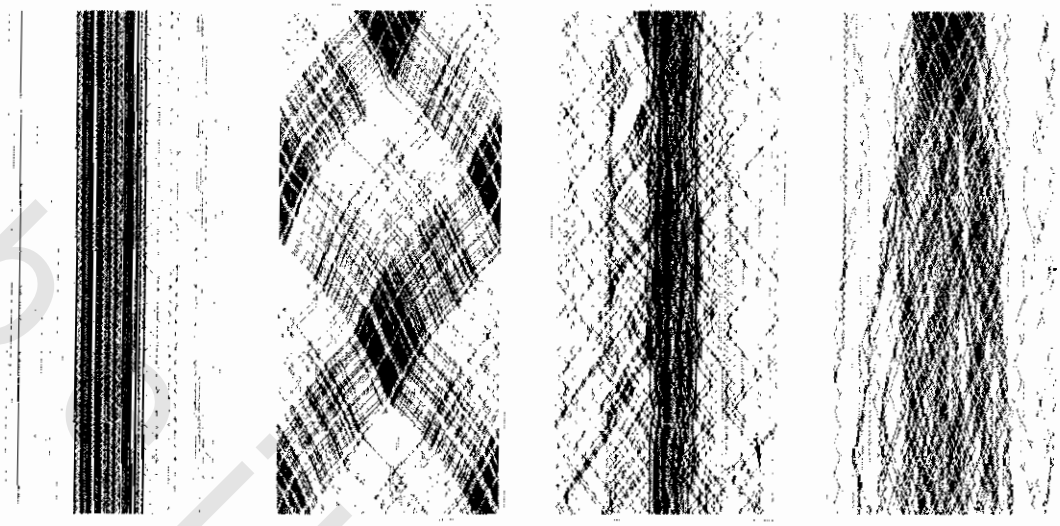
لو أخذنا ثلاثة ألوان واشترطنا مثلا ثبات عدد الخلايا السوداء والرمادية . نحصل على سلوك أكثر تعقيداً كما هو واضح من شكل (١٠٧) .



شكل(١٠٧)
أوتوماتون خلوى ذو ثلاثة ألوان يحفظ عدد الخلايا السوداء والرمادية ثابتا فى كل خطوة .
كل الأنواع انعكاسية رغم أنه يبدو غير ذلك

فى شكل (١٠٨) نرى عشوائية تبدو أكبر بالنسبة للقاعدتين فى ب ، حـ فى شكل (١٠٧) . نلاحظ وجود أطراف محدّدة مما يسبب تصادمات الخلايا وإلا أصبح سلوك مثل هذه النظم غير ذى قيمة .

فى شكل (١٠٨) نعطى مثالا لأوتوماتون خلوى ذى أربعة ألوان .



شكل(١٠٨)
يبين الشكل سلوك أوتوماتون خلوى ذى أربعة ألوان ورغم أنه يبدو أن بعض المناطق أكثر اسودادا ولكن عدد الخلايا للأربع ألوان ثابتة بصرف النظر عن ترتيب الخلايا .
فى (أ) و (ب) تظل المناطق منفصلة بعضها عن الآخر أما فى (جـ ، د) فالمناطق تنتشر إحداها فى الأخرى .

فى شكل (١٠٩) نرى كيف يتطور السلوك نوعى (جـ) ، (د) فى شكل (١٠٨) بعد ألف خطوة حيث تتوزع الكثافة بشكل تدريجى فى النوعين . هذا يفسر كيف تطمس العشوائية المحلية الخصائص المميزة للخلايا كل على حدة وكذلك يضمن عدم تغير بعض الكميات الفيزيائية بسرعة . بهذه الطريقة يمكن تفهم السلوك المماثل لسلوك الأوساط الاستمرارية .

النماذج النهائية للكون
Wtimate Models of the Universe

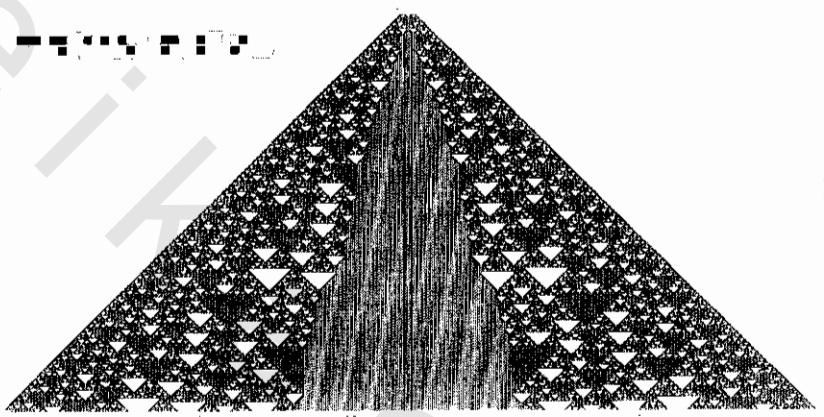
لقد شهد تاريخ الفيزياء بناء نماذج مختلفة للكون مبنية على الميكانيكا الكلاسيكية ، ميكانيكا الكم إلى النظرية الكمية للمجال وغيرها . والسؤال الآن هل ستظل هذه العملية إلى ما لا نهاية أم أن هذه العملية ستتوقف لتنتهى بنظرية موحدة للكون ؟

إن الخبرة المتراكمة فى علم الفيزياء توضح أنه عند الوصول إلى مستوى معين من الدقة فى وصف نظام ما تبرز مشاكل تحتاج إلى حلها ثم ننتقل إلى مستوى أعلى من الدقة وهكذا .

ولكن كما رأينا فى هذا الكتاب أن الظواهر المعقدة لا تحتاج بالضرورة إلى نماذج معقدة لوصفها ، وأن البرامج البسيطة يمكن أن تعطى سلوكا معقداً جداً .

فهل يمكن أن نصل إلى برنامج بسيط إذا جرى تشغيله لفترة طويلة جداً يمكن أن يصف الكون الذى نعيش به بكل تفاصيله ؟

ما نفعله عادة هو أن نبدأ بالمعلومات المتوفرة عن الحدث الذى ندرسه ثم نبدأ فى التفكير فى ماضى هذا الحدث وكيف يمكن أن يكون قد وصل إلى حالته الراهنة وهكذا . فى شكل (١٠٩) نرى رسما ولنفرض أننا نود أن نصل إلى البرنامج الذى يصف هذا السلوك .



شكل(١٠٩)
مثال على مدى صعوبة التوصل إلى القاعدة التى يتبعها البرنامج الذى يعطينا فى النهاية مثل هذا الشكل الذى يتبع القاعدة (94) مع شروط ابتدائية مبينة فى الشكل

فى هذه الحالة لابد أن نبدأ باستراتيجية معينة ونختار مجموعة مناسبة من القواعد وندرس هذه القواعد بتشغيل كل منها وننظر ما ينتج عن ذلك .

ولكن ماذا عن قواعد الكون ؟

دون إعطاء الأمل فى سهولة هذا الموضوع ولكن إذا أعملنا المنطق فإنه إذا كانت القاعدة التى سوف نجدها بسيطة فإن أجزائها المختلفة سوف تتكون بحيث يكون كل جزء مسئولا عن صفة معينة فى هذا الكون . الصعوبة تأتى حين نتذكر أن تغيرا ما فى جزئية سوف يؤثر بالتأكيد على بقية الأجزاء . هذا يقودنا إلى فكرة أننا نعيش فى عدة أكوان لكل قاعدته وليس لأى أفضلية على الآخر .

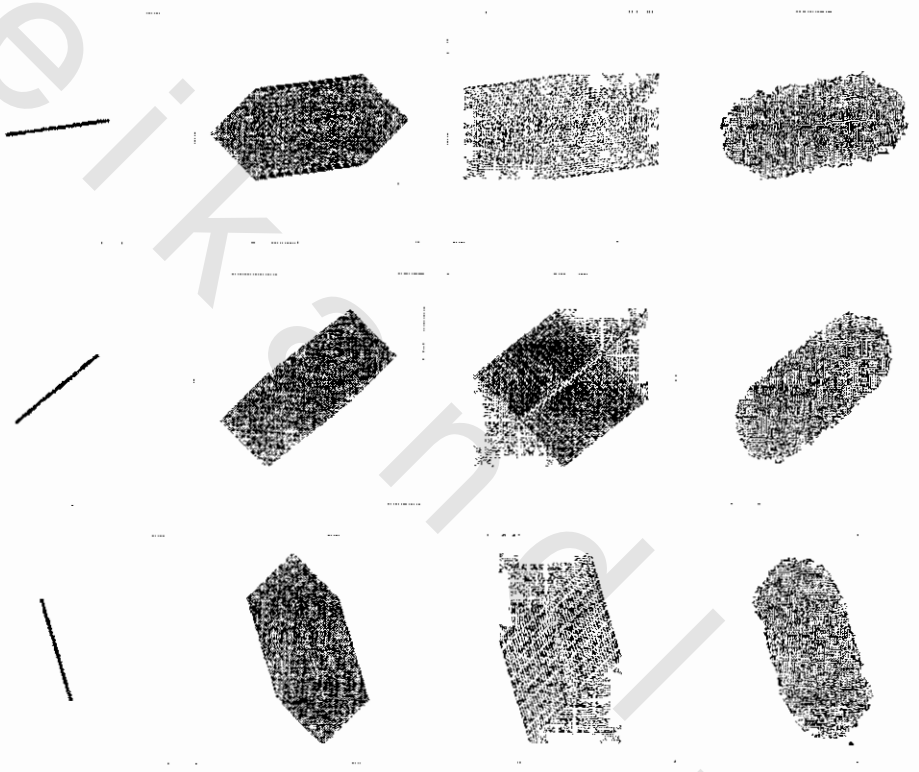
أكثر من هذا يمكننا القول بأن ما نراه الآن ونعرفه عن الفيزياء وقوانينها يمكن أن يكون لحظة فى تاريخ الكون ويمكن أن تتغير هذه القوانين من ناحية الشكل أو البساطة .

طبيعة الفراغ

Nature of Space

من المفاهيم الأساسية فى الفيزياء أن الفراغ استمرارى أما فى الأوتوماتا الخلوية الفراغ انفصالى ومكون من خلايا منفصلة . أصبح الآن فى الفيزياء معروفا أن الفراغ استمرارى حتى $١٠^{-٢٠}$ متر . بعد ذلك يصبح الفراغ مكمما أى مكونا من خلايا انفصالية مثله مثل الأوتوماتون الخلوى .

فى شكل (١١٠) نورد رسما يبين سلوك ثلاثى أوتوماتا خلوية فى بعدين تترتب الخلايا فى كل منها بزاوية مختلفة .



شكل(١١٠)

يبين الشكل سلوك ثلاث أوتوماتا خلوية فى بعدين تترتب الخلايا بزاويا مختلفة ١٠° ، ٤٠° و ١١٠°
القواعد المستخدمة هى للزاوية ١٠° – أربع جيران كود ٤٦٨ ، للزاوية ٤٠° – أربعة جيران كود ٦٨٦ ، الزاوية ١١٠° – ثمانية جيران كود ٧٤٦ ، أ ، ب بعد ٤٠ خطوة ، جـ – بعد ١٠٠ خطوة

نلاحظ أنه فى الحالة جـ – نحصل على شكل مغلق لا يعتمد على اتجاه الشبيكة . فى هذا الصدد نلاحظ أيضاً أن العشوائية طمست التفاصيل المتعلقة باتجاه الشبيكة كما يحدث كثيراً فى مثل هذه الأوتوماتا الخلوية .

obeikandl.com

والآن هل يمكن أن نعتبر أن الكون ما هو إلا أوتوماتون خلوى عملاق مثل الذى تم عرضه فى حالة جـ - شكل (١١٠) .

ليس هذا بمستحيل ولكن عندى شك كبير فى هذا . فى الواقع فى عام ١٩١٥م ظهرت مثل هذه الأفكار انتهت إلى أن الجاذبية ما هى إلا خاصية الفراغ ، ولكن ماذا عن بقية القوى التى نتعامل معها فى الفيزياء . ما زال هذا السؤال مفتوحا لم يلق إجابة شافية .

حل هذه المعضلة فى رأيى أننا ننظر للفراغ كوسط استمرارى ونعالجه بواسطة المعادلات الرياضية . فى رأيى أن الفراغ هو تجمع من خلايا منفصلة . هذا على المستوى الأدنى فى الفراغ وحتى الكون الكبير الذى نعيش فيه .

الفرغ كشبكة

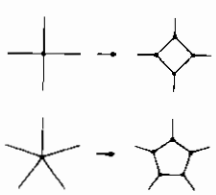
Space as a Network

لقد ناقشت موضوع أن نموذج الفيزياء لابد وأن يكون بسيطا بقدر الإمكان ، لذا لابد أن نتوقع أن خواص كوننا هذا لابد وأن تنبثق - عند مستوى ما - وكلية من خواص هذا الفراغ . فى هذا السياق أعتقد وبشدة أن الفراغ عند المستوى الأدنى تماماً ما هو إلا شبيكة من العقد(*) .

فى الباب الخامس ناقشنا أنماطا مختلفة من الشبكات أما بالنسبة للفراغ فإنى أختار شبكة بحيث يكون داخلاً وخارجاً من كل عقدة ثلاث وصلات . السبب فى ذلك هو أن مثل هذه الشبكة تتيح الكثير من الاختيارات .

لا نختار عقدا يدخل فيها ويخرج أكثر من ثلاث وصلات لأن أى شبكة من هذا النوع يمكن تقسيمها إلى شبكات أبسط مكونة من تلك ذات الوصلات الثلاث كما هو مبين فى شكل (١١١) .

ولذا سوف أكتفي فى هذا النقاش بالتركيز على تلك الشبكات المكونة من عقد ذات ثلاث وصلات .

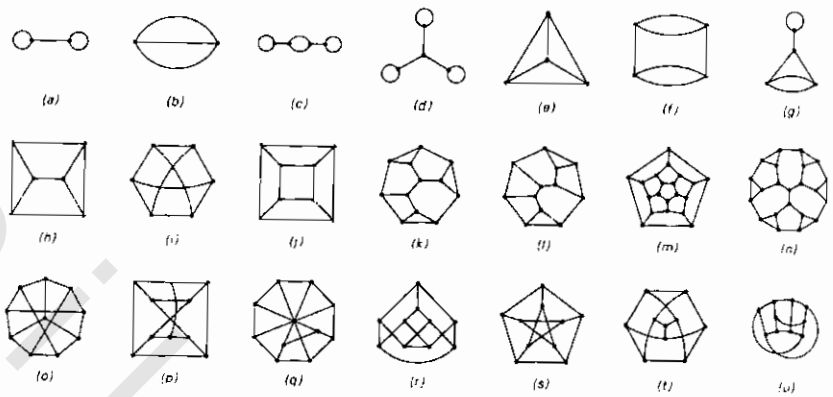


شكل(١١١)
أمثلة على كيفية فك العقد التى لها أكثر من ثلاث وصلات إلى عقد ذات ثلاث وصلات

(*) العقدة : هى نقطة اتصال عدة أفرع فى الدائرة الكهربية .

obeikandl.com

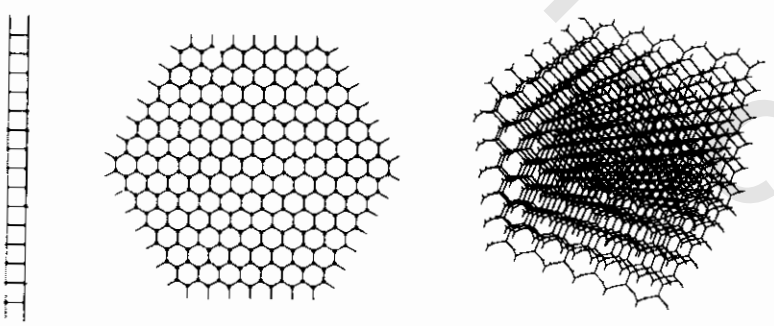
فى شكل (١١٢) نرى أمثلة متعددة على الشبكات المكونة من عقد تحوى كل ثلاث وصلات فقط .



شكل(١١٢)
أمثلة مختلفة على شبكات مكونة من عقد ذات ثلاث وصلات .
الصف الأول يبين تلك الشبكات ذات أربع عقد ، الصف الأخير يمثل ما يسمى بشبكات «بيترسون»
فى الوسط أنماط مختلفة للشبكات البسيطة

ولكن كيف يمكن أن نجد الشبكات التى تماثل الفراغ الحقيقى ؟

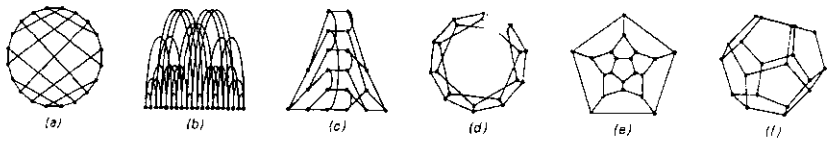
فى شكل (١١٣) نرى أمثلة على شبكات أحادية ، ثنائية وثلاثية الأبعاد .



شكل(١١٣)
أمثلة على الشبكات ذات الثلاث وصلات لكل عقدة ،
الأولى فى بعد واحد ، الثانية فى بعدين والثالثة فى ثلاثة أبعاد

obeikandl.com

فى شكل (١١٤) نورد رسما يوضح كيفية بناء شبكة بعدة طرق .

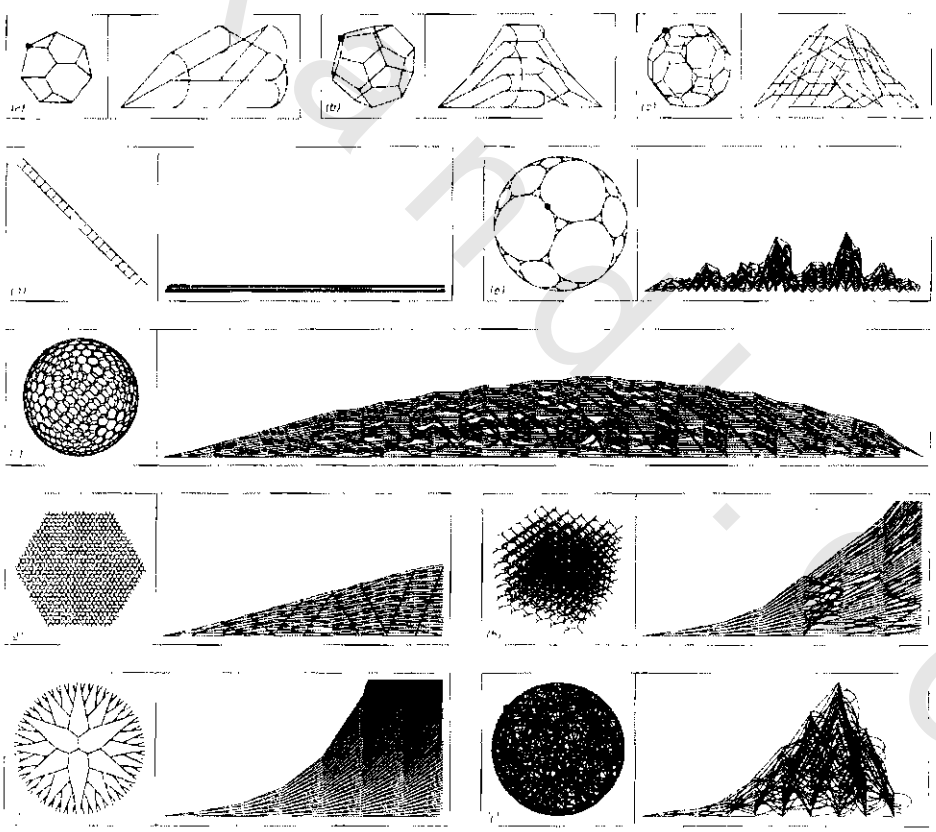


شكل(١١٤)

يبين الرسم كيفية بناء شبكة بعدة طرق – فى الشكل الأول عبر دائرة – فى الثانية على خط ، الثالثة تكون العقد والوصلات على الصفحة ، إلى الأخيرة فى ثلاثة أبعاد .

ننتقل بعد ذلك إلى اختيار المسافات بين العقد كأقصر مسافة بينها . من أفضل هذه الخيارات التى تقارب الفراغ الحقيقى هو أن المسافة تزداد وتتناسب مع (r^d) بالنسبة لفراغ ذى d- أبعاد .

فى شكل (١١٥) نرى أنماطاً مختلفة من الشبكات توضح أولاً الانتظام فى كل وثانيا عدد العقد التى نقطعها بدءاً من عقدة معينة مع تتابع الخطوات .



شكل (١١٥) : يبين الشكل كيفية بناء الشبكات ويوضح مدى انتظامها بالنسبة للشبكات التى تماثل الفراغ الحقيقى ذى أبعاد قدرها (d) يزداد هذا العدد متناسبا مع r^{d-1}

فمثلا بالنسبة للشبكة (g) فإن النمو خطى أى $r^{(1)}$ ، بالنسبة للحالة (d) لا يوجد نمو أى $r^{(o)}$ ، فى الحالة (h) فإن النمو يتناسب مع r^2 أى الحالة ثلاثية الأبعاد .

من كل هذا نستنتج أن هناك انحناء فى الفراغ وهو المسئول عن الجاذبية .

ولكن السؤال هو كل الشبكات الكبيرة تمثل الفراغ الحقيقى متعدد الأبعاد ؟ الإجابة لا فمثلا الشبكة (i) فى الرسم السابق (شكل ١١٥) لا تمثل أى فراغ لأن بنيتها مثل الشجرة وعدد العقد فى مسافة قدرها (r) هو (3^r) وبالتالى نموها أكبر من (r^d) وهذا لا يتوافق مع خواص الفراغ الحقيقى الذى نبحث عنه . فى الشبكة (J) تختار الوصلات بشكل عشوائى مما يجعل الشبكة بعيدة كل البعد عن أن تمثل فراغا حقيقياً .

نستنتج أن الوصلات المحلية لأجزاء الشبكة يمكن أن تكون عشوائية ، أما على المستوى الأعلى فلابد أن تتوافق مع الفراغ الحقيقى ذو الثلاثة أبعاد .

العلاقة بين الفراغ والزمان
Relation between Space and Time

منذ زمن طويل كان النظر إلى الفراغ (المكان) منفصلا تماماً عن الزمان ، فى بداية القرن العشرين تعدلت الرؤية وأصبح المكان والزمان متلازمين يكونان فراغا واحدا لا يتجزأ .

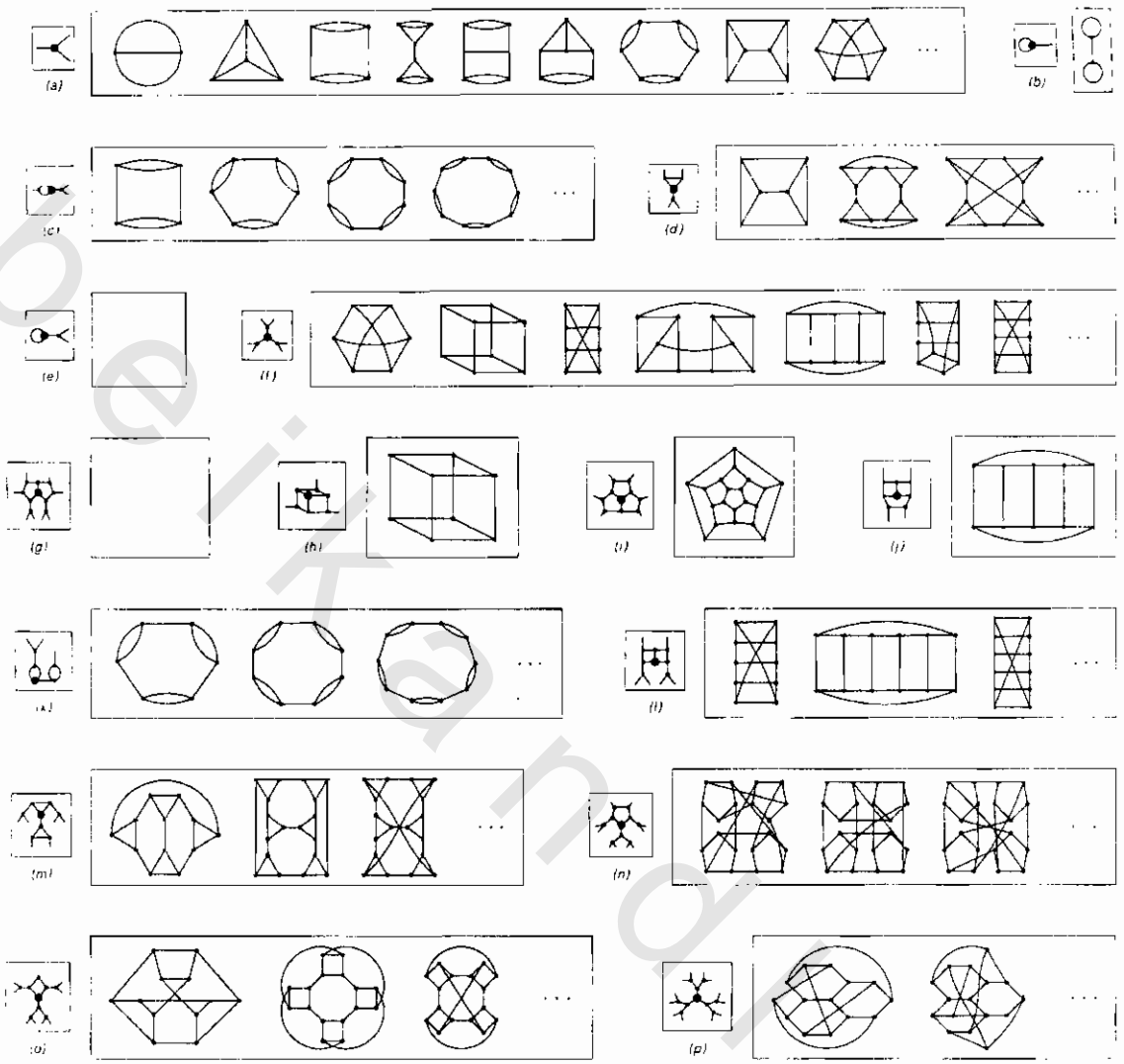
ولكن ما الذى يحدد هذه البنية ؟

إن قوانين الفيزياء تمثل قيوداً على هذه البنية وتحدد خواصها . إذا أخذنا الأوتوماتا الخلوية كما وصفناها فى الباب الخامس(*) نجد أنها يمكن أن تمثل مثل هذا الفرغ الزمكانى .

فى شكل (١١٦) نرى العديد من الشبكات التى تحقق قيوداً مختلفة . فى أشكال (a) و (b) أبسط هذه النماذج ، حيث تحوى عقدة واحدة . فى (a) غير مسموح أية توصيلات إلا أن توصل العقدة بنفسها . فى الشكل (b) مسموح فقط بشبكة وحيدة .

هكذا نرى أنه يوجد فقط ١١ نوع من هذه الشبكات التى تعطى حالات ذات معنى .

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



شكل(١١٦)

أمثلة على الشبكات ذات القيود . كما نرى فى الحالات (b) ، (h) ، (i) ، (j)
مسموح فقط بشبكة وحيدة . الشبكات المبنية فى هذا الشكل
تماثل تلك الواردة فى الباب الخامس(*)

والآن نتساءل هل الكون بنية منفردة فى الزمكان تتحدد بنيته بقيود من نوع ما؟ أم أن تاريخ الكون فى الزمكان موجود ونحن فقط نبحثه فى الوقت الراهن

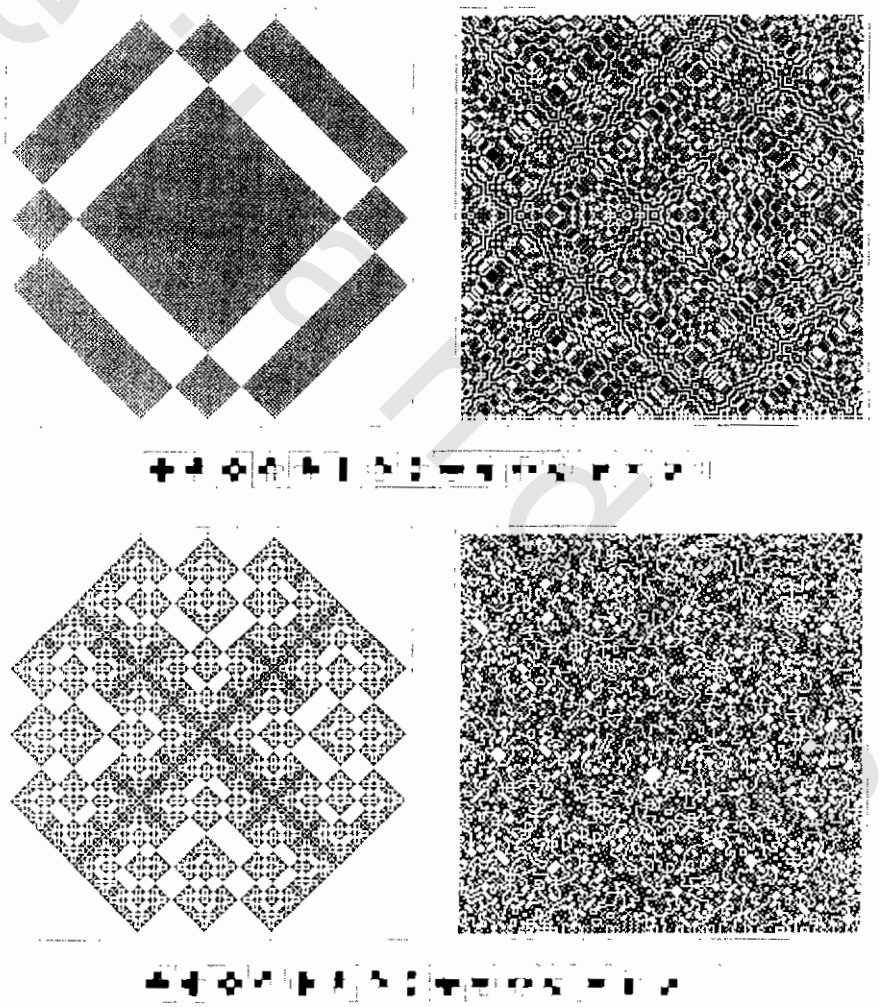
(*) «نوع جديد من العلم» المكتبة الأكاديمية ٢٠٠٤ .

obeikandl.com

باستكشاف أجزاء مختلفة منه ؟ أم أننا ينبغى أن ننظر للكون على أنه مثل الأوتوماتا الخلوية فى حالة تطور وتغير دائم بالنسبة للزمن بحيث فى كل لحظة يتخلق كون جديد ، ويتبدد القديم ؟

للأسف فإن النماذج التى بنيت وعولجت بواسطة المعادلات الرياضية لم تفرق بين هذه النماذج أو التصورات أو الرؤى .

فى رأيى أن الشكل الثانى هو الذى يعكس خواص كوننا بشكل أفضل من النموذجين الآخرين .



شكل(١١٧)
أمثلة على الأوتومات الخلوية فى بعد واحد التى تعطى تماثلا بين الزمان والمكان .
القواعد مبينة مع كل شكل وهى 90R 150R .

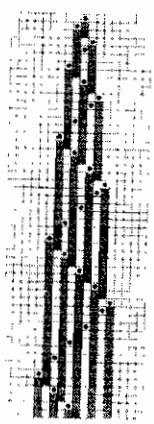
فى النهاية إنى أرى أن الشبكة التى تمثل الزمان والمكان فى كوننا وتعالج كل منهما بطريقة مختلفة يمكن أن تكون أوتوماتون خلوى يبدأ بشروط ابتدائية وتتطور بالتدريج حسب قواعد اختيرت بعناية وتطبق مرة تلو المرة . فى الواقع سوف تمثل هذه القواعد قيودا على سلوك الشبكة التى نبنيها .

الزمان والشبكات السببية

Time and causal Networks

لقد اعتبرنا فى الجزء السابق أن التطور يمكن أن نمثله بتحديث الخلايا فى الأوتوماتون الخلوى . هذا التحديث يتم حسب سرعة الساعة الداخلية للحاسب والبرنامج . بالنسبة للكون يصعب تصوره كشبكة صلبة من الخلايا فى الفراغ تتبدل وتتغير حسب دقات ساعة كونية فى مكان ما من الكون ذاته . ولكن ما هو البديل ؟ البديل هو تصور الكون كأوتوماتون متحرك أو آلة تيورينج حيث يحدث تحديث لخلية واحدة فى كل خطوة .

كما هو واضح من شكل (١١٨) فالأوتوماتون المتحرك يحوى خلية واحدة فقط نشطة تتحرك مرة واحدة مع كل تحديث وتتحرك فى اتجاه ما مع كل خطوة . بالتالى لا ضرورة لتحديث كل الخلايا الأخرى فى نفس الخطوة .



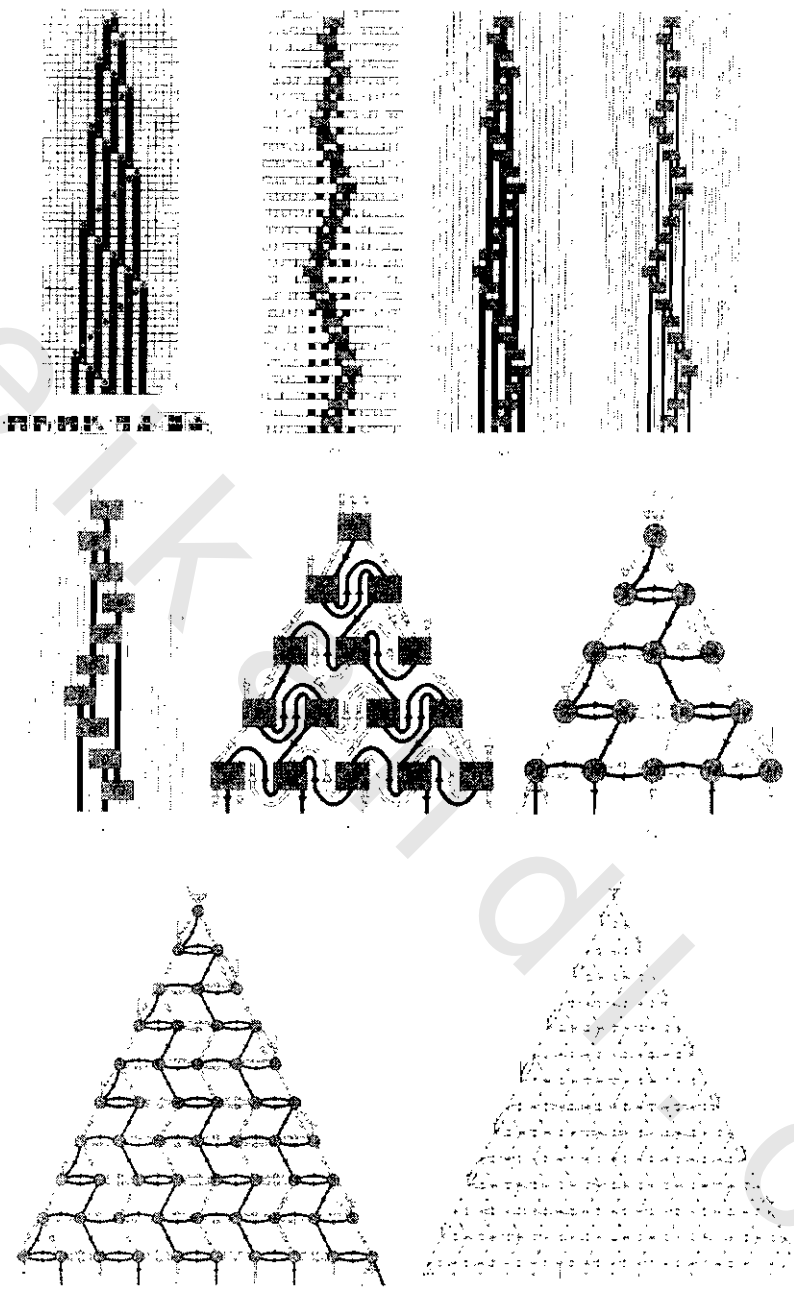
شكل(١١٨)
أوتوماتون متحرك حيث تنشط خلية واحدة فقط

فى نفس الوقت واضح أن الأوتوماتون الخلوى لا يماثل الكون حيث لا نرى خلية نشطة تزور كل الأماكن أحدها تلو الآخر حتى يحدث تطور بالنظام ككل .

جانب آخر مهم هو وضع الراصد هل هو خارج هذا النظام أم بداخله . إذا كان خارج النظام فواضح أنه سوف يرى كيف تتحرك الخلية النشطة وتزور الخلايا الأخرى تباعا . أما إذا كان الراصد بالداخل فى النظام فإنه لن يرصد أى تغييرات إلا فى اللحظة التى تزوره الخلية النشطة .

فى شكل (١١٩) نرى كيف يمكن إظهار لحظات التحديث وكيف نبين العلاقات السببية .

Obeikandl.com



شكل(١١٩)

يبين الشكل كيف يتطور الأوتوماتون مع إظهار لحظات التحديث (a) شكل تقليدى للأوتوماتون المتحرك (b) الدوائر الرمادية تظهر لحظات التحديث (c) توصل الخلايا التى لم تحدث (d) الشرائط الرأسية التى تصل لحظات التحديث (e) – (g) : تظهر كيفية بناء شبكة تظهر نقاط التحديث (h) ، (i) يبنيان كيفية بناء شبكة منتظمة .

ولكن ما هى أهمية هذه الشبكات ؟ تكمن أهميتها أنها تعكس الكيفية التى يرى بها راصد داخل النظام يرصد التغيرات التى تحدث به . كل لحظة تحديث تمثلها عقدة الشبكة وهكذا تتمثل النقاط الزمكانية فى بنية الفراغ . الفارق هنا أيضاً أننا نرى العلاقات السببية بين الأحداث عقدة بعد الأخرى فى اتجاه واحد. وهذا هو بالضبط ما نريد لتمثيل الزمن فى مثل هذه البنية ، بحيث نحكم ما هى الأحداث المعتمدة على الأحداث التى قبلها وليس العكس . نقطة هامة وهى أن الراصد داخل النظام يستحيل أن يرى كل أحداث التحديث ولكنه يرى العلاقات السببية وأما ما يناظرها من فترات زمنية يمكن استنباطها من خواص الشبكات نفسها.

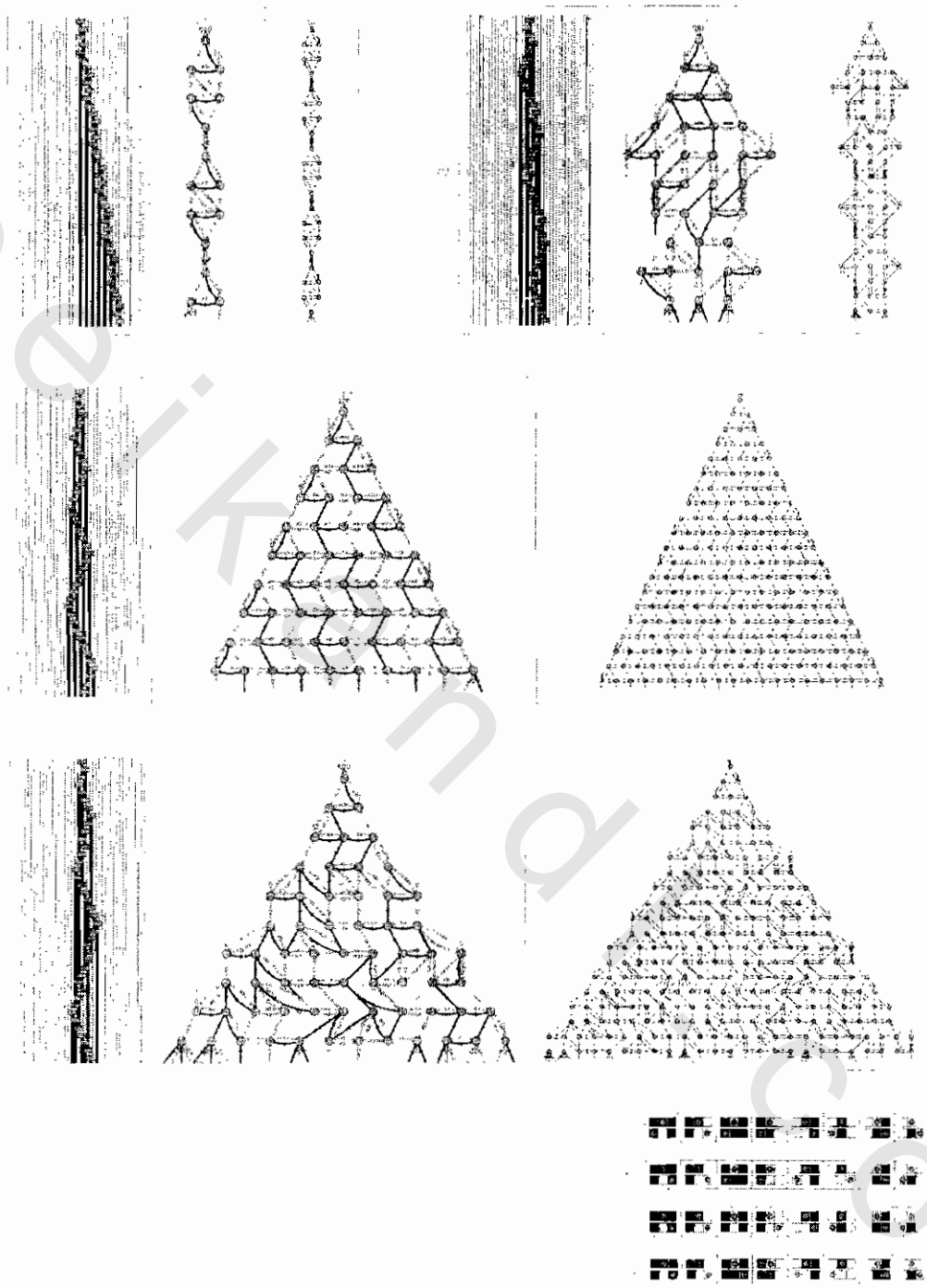
يعكس كل هذا إمكانية أن يتحرك الإنسان فى أى اتجاه بالنسبة للمكان أما بالنسبة للزمن فيمكنه التحرك فى اتجاه واحد فقط .

والآن ماذا بالنسبة للأنواع الأخرى للأوتوماتا المتحركة ؟

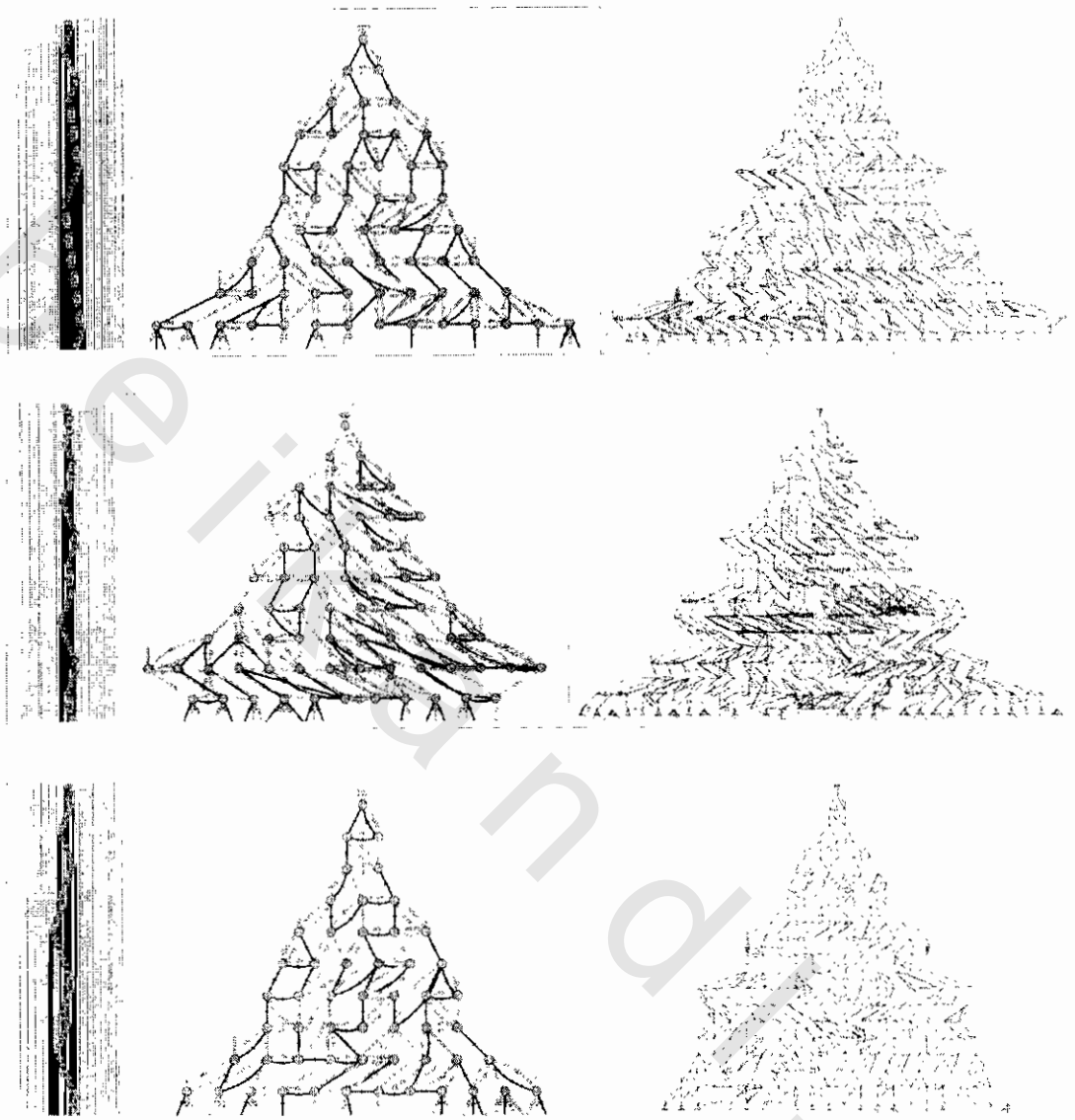
فى شكل ١٢٠ أ ، ب : نرى فى (a) ، (b) نوعين بسيطين يبنيان الزمان ولكن يغيب المكان وإن كان ممثلا بنقاط محدودة يمكن أن نصل إليها . الأنواع المبينة الأخرى تخلو من هذا العيب القواعد (c) ، (d) تفضى إلى شبكات منتظمة. أما بالنسبة للقواعد (e) ، (f) ، (g) فالشبكات أكثر تعقيداً وتبدأ فى إضهار العشوائية .

فى الحالتين (a) ، (c) نرى خاصية مهمة وهى أنه فى المتوسط بالنسبة للزمن يكون التحرك إلى أسفل ، ولكن فى بعض الحالات يمكن التحرك لأعلى وأسفل ولكن فى بعض الوصلات الخاصة . نلاحظ أيضاً أن بعض العشوائية تظهر وتطمس بعض التفاصيل .

فى شكل (١٢١) نرى رسما للشبكات السببية مع ترقيم كل عقدة لتحديد المسار وكيف تتصل بالعقد الأخرى .



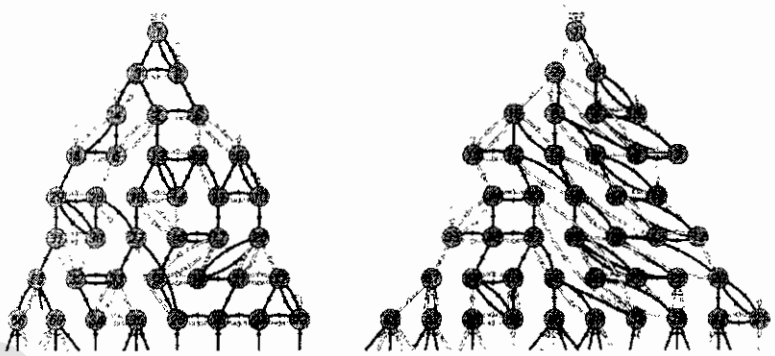
شكل (١٢٠)
أمثلة من الأوتومات المتحركة والشبكات السببية التى تولدها .
وهى شبيهة بشبكات الفراغ الواردة فى شكل ١١٥



شكل (١٢٠ ب)

لاحظ أن وصلة منفردة يمكن أن تصل أحداث عدة تحدث عند خطوات مختلفة .

ولكن فى بعض الأحيان كما فى (a) يمكن أن تكون هناك وصلات لا تستطيع بأى حال أن تصل إلى أى نقاط من الأحداث التى تليها.

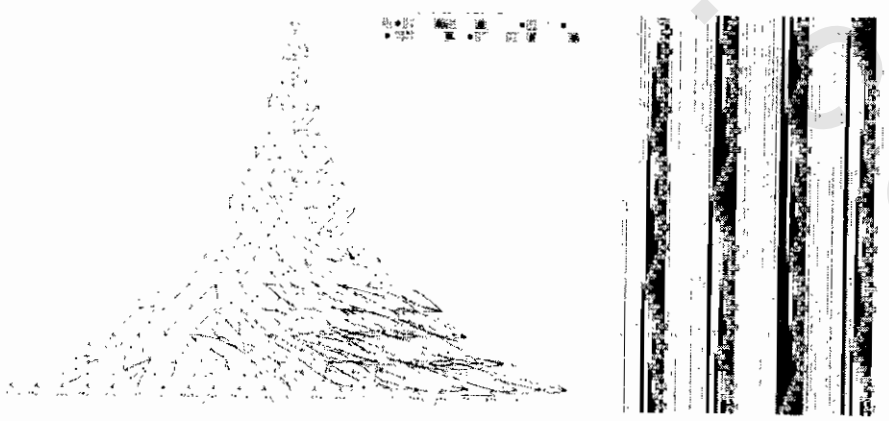


شكل(١٢١)
الشبكات السببية للنوعين (e) ، (f) من شكل (١٢٠ ب)
والتى تحتاج إلى ٢٤٤٧ ، ٧٣١ خطوة لكل بالترتيب

أهم ما يميز هذه الشبكات السببية هو أننا يمكن أن نحدد ما هى الأحداث التى تتسبب فى حدث ما ، فمثلا بالنسبة الحدث ١٧ فى الشكل الأول إلى اليسار نجد أن الأحداث ١١ ، ١٦ هى المسببة له . الشبكة إلى اليمين بنيت بحيث تكون انعكاسية تماماً .

لنتساءل الآن بالنسبة للشبكات السببية وكم هى تعكس الأوتوماتا الخلوية التى ولدتها ؟

فى شكل (١٢٢) نرى أنه فى حالة الأوتوماتون أحادى الاتجاه نحصل على شبكات سببية سريعة النمو بمعامل ١,٢٢ فى هذه الحالة .

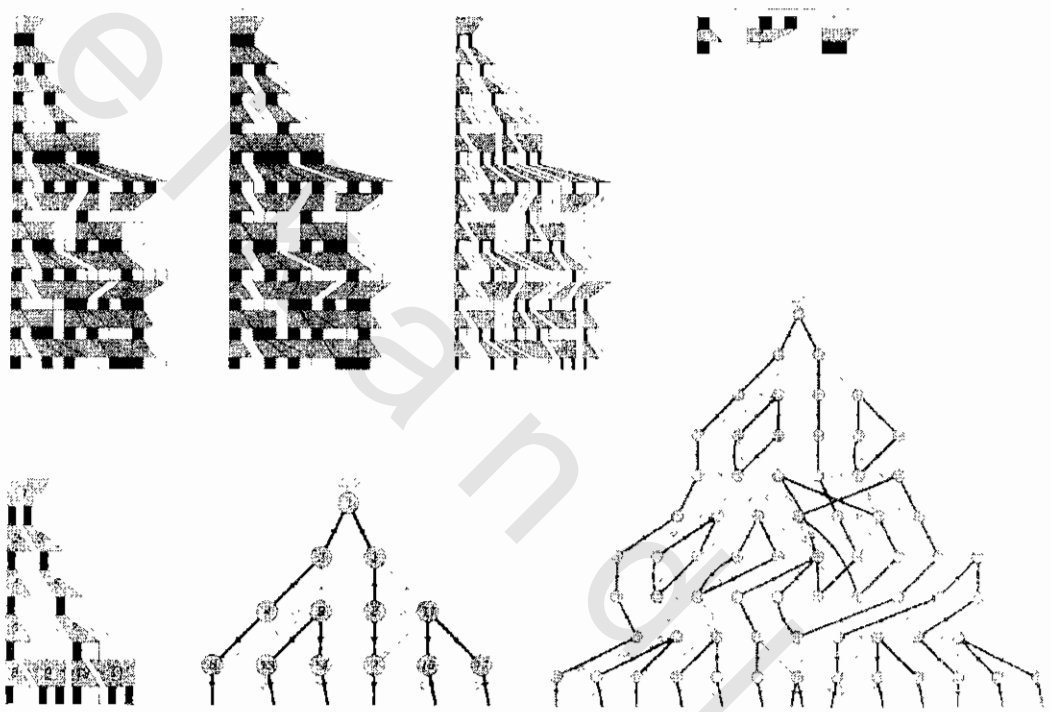


شكل(١٢٢)
أوتوماتون خلوى أحادى الاتجاه يولد شبكة سببية تنمو أسّيا مع الزمن . عرض الشكل ينمو لوغاريتميا مع عدد الخطوات .

تتالى الأحداث فى الكون
Sequencing of Events in the Universe

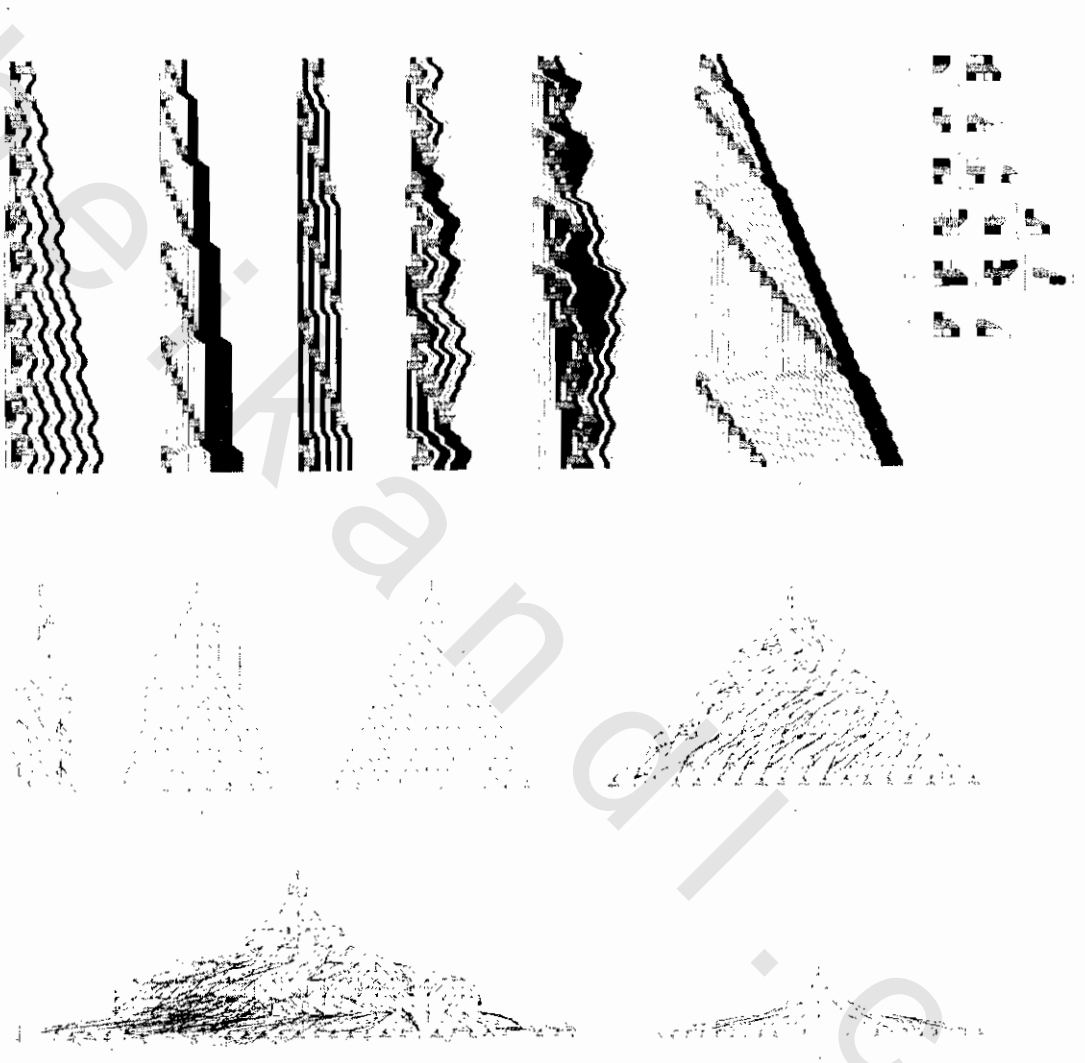
يمكن أن ننتقل إلى طريقة أخرى للتعبير عن تتالى الأحداث بواسطة نظم الاستبدال التى أوضحناها فى الباب الثالث . تتميز هذه النظم بأنه يمكن استبدال قوالب كاملة من الخلايا بقوالب أخرى حسب قاعدة معينة .

فى شكل (١٢٣) نرى مثالا لمثل هذه النظم .



شكل(١٢٣)
خطوات بناء شبكة سببية لنظام استبدال . كل عملية استبدال قالب من اخلايا بقالب آخر حسب قاعدة معينة تمثل بعقدة فى الشبكة السببية

ولكن ماذا يحدث إذا أجرينا أكثر من استبدال فى كل خطوة . فى هذه الحالة تنمو عقد الشبكة السببية بشكل خطى كما هو مبين فى شكل (١٢٤) .



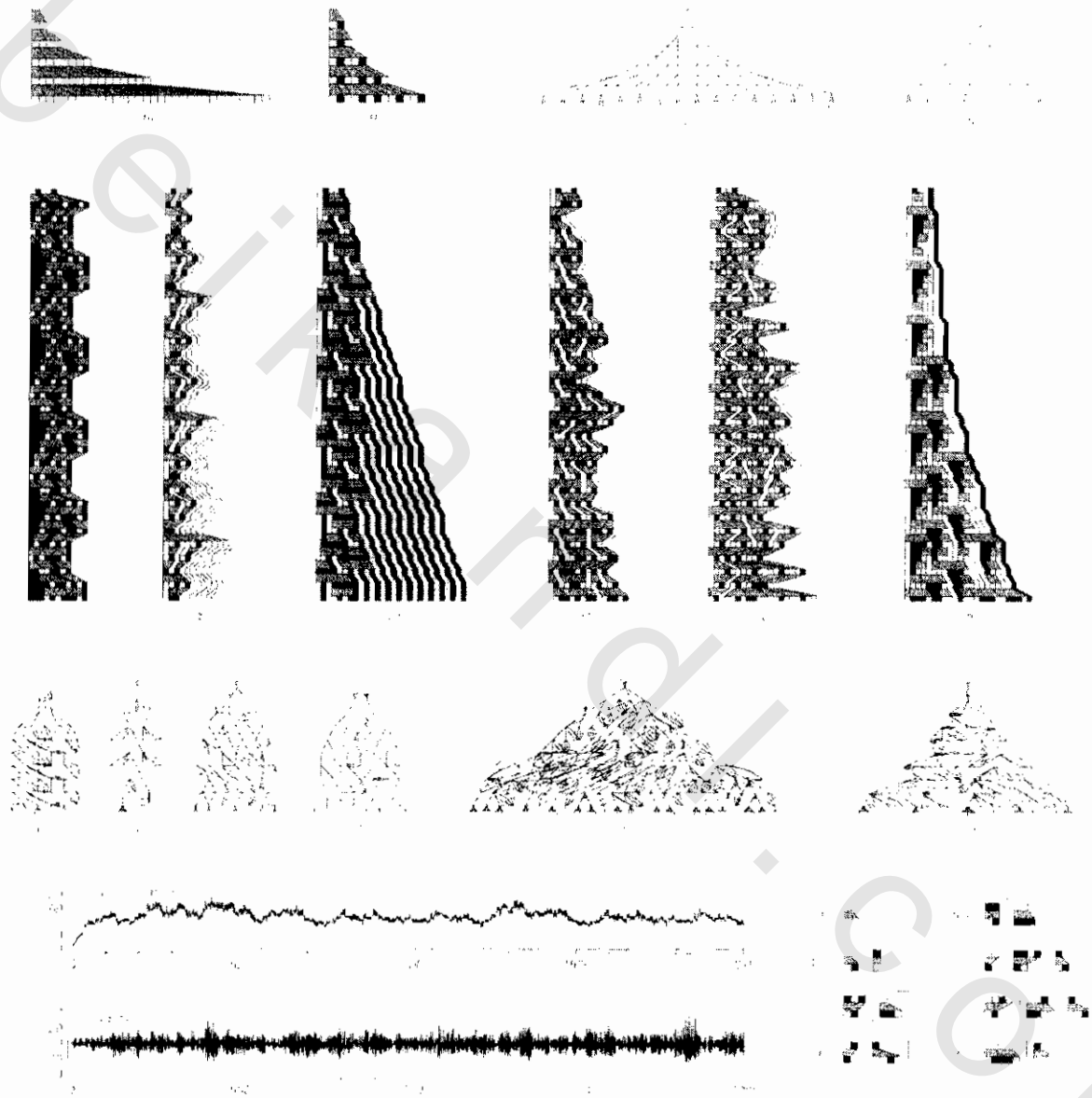
شكل (١٢٤)

شكل(١٢٤)

أمثلة للاستبدال المتتالى والشبكات السببية التى تنتج عنها (a) شبكة تكرارية لا تصلح لتمثيل الكون (b) ، (c) ، (d) تنمو خطيا (f) تنمو أسّيا (e) تنمو أسرع من ذلك وليست واضحة خصائص هذا النمو

obeikandl.com

فى شكل (١٢٥) نرى كيف يمكن إجراء استبدالات مختلفة . إذا كان الاستبدال يتم لعنصر واحد نحصل كما فى (a) ، (b) على تفرع شجرى ، ولكن ماذا يحدث إذا استبدلنا أكثر من عنصر فى كل خطوة ؟ فى كثير من الحالات نحصل على سلوك بسيط ولكن حسب القواعد المستخدمة يمكن أن نحصل على سلوك شديد التعقيد .

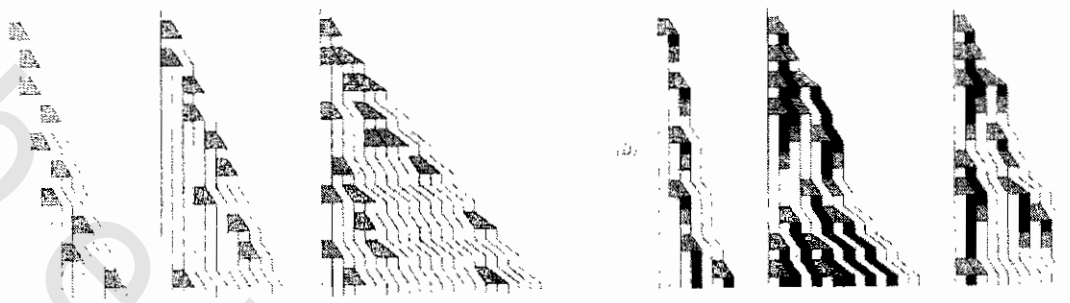


شكل(١٢٥)

أمثلة على النظم الاستبدالية العامة والشبكات السببية بحيث يحدث كل استبدال ممكن فى (a) ، (b) نحصل على تفرع شجرى ، الرسوم فى الأسفل تبين النمو فى قاعدتى (f) و (g) .

ولكن أى من هذه الأشكال الاستبدالية نختار ؟

من المهم أن هناك بعض القواعد التى تولد شبكات استبدالية ثابتة بصرف النظر عن اختيار طرق الاستبدال ، كتلك (a) ، (b) من شكل (١٢٥) ومبينة فى شكل (١٢٦)

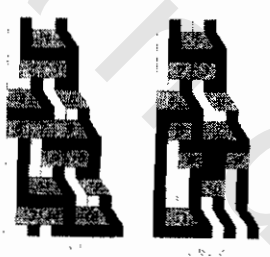


شكل(١٢٦)

سلوك النوعين (a) ، (b) من شكل ١٢٥ حيث تتم الاستبدالات بشكل عشوائى .

وإن كانت الأشكال التفصيلية مختلفة فإن الشبكات السببية لهذه القواعد بالذات تمثل علاقات بين أحداث الاستبدال ثابتة لا تتغير

ليس هذا صحيحاً لكل نظم الاستبدال . الرسوم فى شكل (١٢٧) تبين كيف تتغير هذه الشبكات السببية لنظم القاعدة (e) من شكل (١٢٥) .

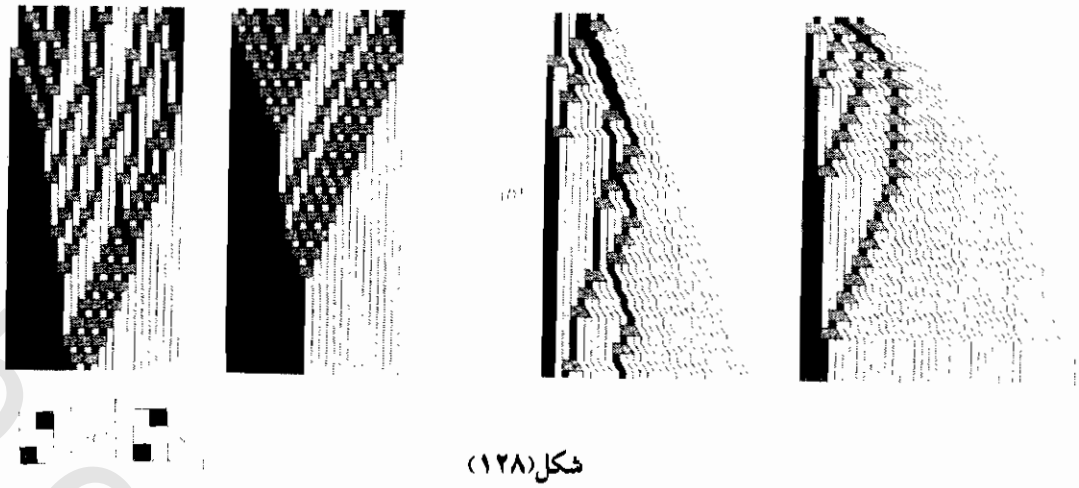


شكل(١٢٧)

يبين الشكل طريقتين مختلفتين للاستبدال فى القاعدة (e) يؤديان إلى شبكتين سببيتين مختلفتين

ولكن ماذا عن القواعد التى يحدث بها استبدال لقوالب تحوى أكثر من عنصر وهل هذه القواعد ما زالت تحوى الخواص المطلوبة ؟

فى شكل (١٢٨) نرى نظامين من تلك المذكورة .



شكل(١٢٨)

أمثلة على نظم الاستبدال والتى نحصل فيها على نفس الشبكات السببية بصرف النظر عن طريقة الاستبدال . فى الشكل الأول تؤخذ الاستبدالات عشوائيا ، فى الشكل الثانى فى أول خطوة سابقة ممكنه . نلاحظ أن القاعدة (a) تقوم بغرز العناصر فى الشروط الابتدائية بحيث تضع الخلايا السوداء قبل البيضاء . أهم خاصية لابد لها أن تتحقق ألا يحدث تداخل بين الخلايا .

نستخلص من كل هذه الاشتراطات أن مثل هذه الأوتوماتا الخلوية لا تحتاج إلى ساعة لضبط تتالى الأحداث وكذلك لا تحتاج إلى خلية نشطة .

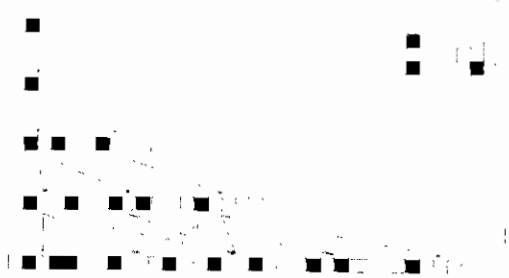
الانفرادية والتفرع فى الزمان

Uniqueness and Branching in Time

إن كوننا لا يحتاج إلى ساعة كونية ولا إلى خلية نشطة ولكن كما رأينا فى الجزء السابق أنه لا يوجد بعض القواعد التى تولد نفس الشبكة السببية بصرف النظر عن طريقة تطبيق هذه القواعد – وبذلك تعطى تاريخ الكون بشكل واحد .

فى الباب الخامس(*) ناقشنا النظم متعددة المسارات ورأينا أنها تماثل نظم الاستبدال فى كثير من السمات والتى يتم فيها استبدالات فى كل خطوة – بالتالى نحصل على وتر (string) جديد وهكذا .

فى شكل (١٢٩) نرى كيف تعمل مثل هذه النظم .



شكل(١٢٩)

مثال بسيط للنظم متعددة المسارات والتى يتم فيها الاستبدال بعدة طرق لكل وتر فى كل خطوة

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

بهذا تمثل النظم متعددة المسارات وجود إمكانية تعدد تواريخ الكون الذى نعيش فيه .

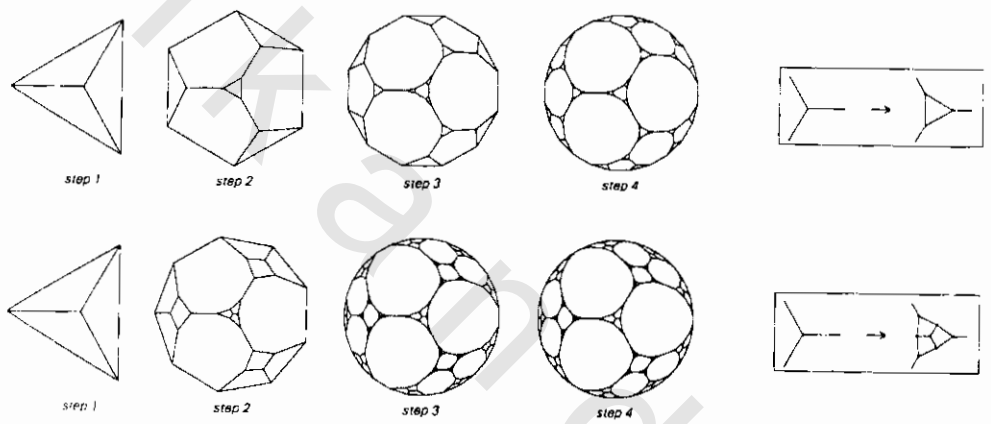
هل هذا يعنى أن كوننا هو نظام متعدد المسارات ؟

رغم أن النظم متعددة المسارات تعنى نوعا من العشوائية فى اختيار المسار إلا أننى مؤمن بأن كل هذه النظم لابد وأن تعطى شبكة سببية واحدة فقط .

تطور الشبكات
Evolution of Networks

فيما سبق اقترحت أن الكون على المستوى الأدنى يتكون من شبكة عملاقة من العقد ولكن كيف تتطور هذه الشبكة ؟

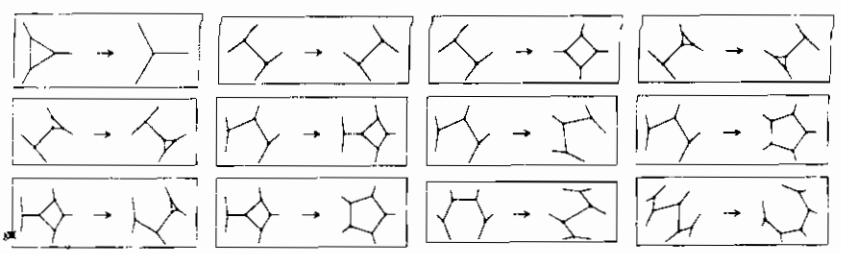
فى شكل (١٣٠) نرى كيف تتطور مثل هذه الشبكات .



شكل(١٣٠)

تطور شبكة عن طريق استبدال عقدة بتجمع (cluster) من العقد وذلك فى كل خطوة .

ولكن ماذا عن النظم الاستبدالية العامة ؟ وهل هناك نظم مناظرة للشبكات ؟ نعم يوجد وهى النظم الاستبدالية للأوتار واستبدال قوالب من العناصر بقوالب غيرها . فى شكل (١٣١) نرى أمثلة على مثل هذه النظم .



شكل(١٣١)

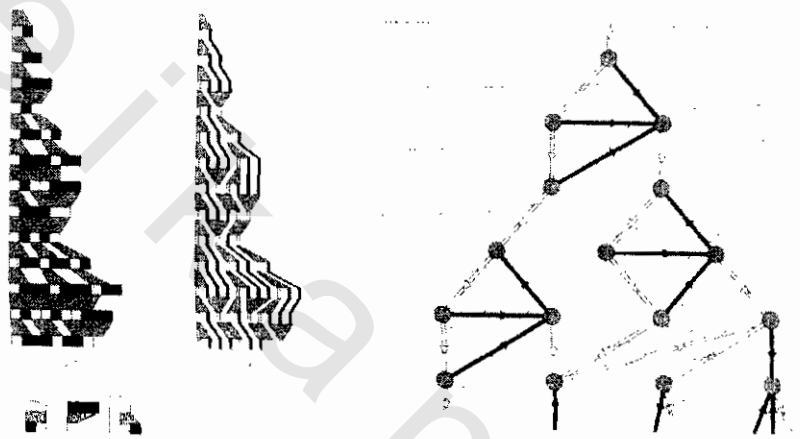
أمثلة على القواعد التى تحوى استبدال تجمعات من العقد بغيرها

فى النهاية إذا قدر لنا أن نصل إلى القواعد النهائية للكون فإنها سوف تعطى شبكات عشوائية على المستوى الأدنى ، لكنها سوف تؤول إلى رقم ٣ بالنسبة لأبعاد الكون .

الفراغ ، الزمان والنسبية
Space, Time and Relativity

كيف ترتبط خصائص الشبكة السببية بتصورنا عن الزمان والمكان فى الكون ؟ وهل يمكن أن نعرف تطور النظام بمجرد معرفة الشبكة السببية له ؟

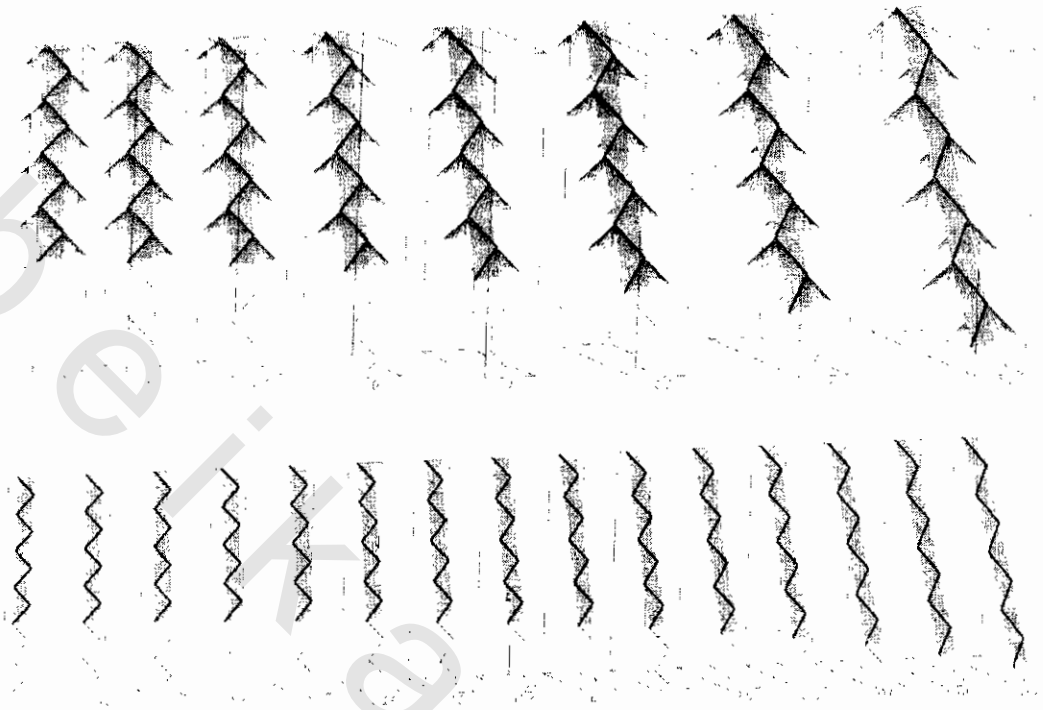
فى شكل (١٣٢) نرى كيفية استنباط تاريخ تطور النظام بمعرفة أجزاء منفصلة من الشبكة السببية له .



شكل(١٣٢)
يبين الشكل كيف يمكن استنباط تاريخ تطور النظام من معرفة بعض أجزاء الشبكة السببية

هنا جانب مهم من خواص النظم هذه وهى المحلية ، أى إلى أى مدى تتأثر المناطق المحيطة بالمنطقة التى تم بها تغير ما . وحتى نقرب من عالمنا الواقعى لابد أن نضع شرطا هو أن هذا التغيير ينتشر عبر الشبكة حسب مسارات محددة بالقواعد الخاصة بهذه الشبكة وفى نفس الوقت تساوى سرعة انتشار هذا التغيير سرعة الضوء فى الفراغ.

فى شكل (١٣٣) نوضح استنتاجا هاما من نظرية النسبية وهو استطالة الزمن ونقصان الطول .

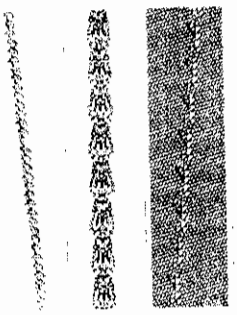


شكل(١٣٣)
يوضح الرسم كيف تحدث استطالة الزمن لفوتون يتخبط بين مرآتين تمثلان نقاطا فى شبكة السببية وواضح منها مقدار الاستطالة فى الزمن حسب النظرية النسبية

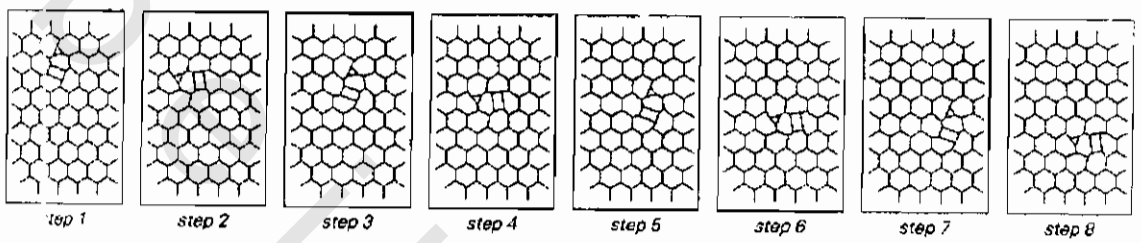
الجسيمات الأولية
Elementary Particles

رغم استمرارية الكون فإن الكون مكون من جسيمات سميت أولية مثل الإلكترون ، البروتون وغيرها وغيرها . هذه الجسيمات لها كتلة وشحنة وغيرها من الخواص المميزة لكل جسم .

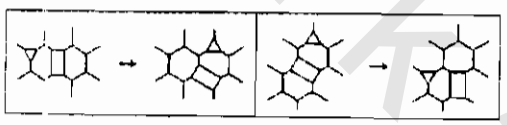
تظهر هذه الجسيمات فى تصورنا باستخدام الأوتوماتون الخلوى كمناطق خاصة فى الأشكال التى نحصل عليها عند رسم تطور الأوتوماتون كما هو واضح فى شكل (١٣٤ أ)



(أ)
الجسيمات كما تبدو فى الأوتوماتون الخلوى

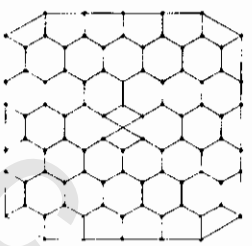


شكل (١٣٤)

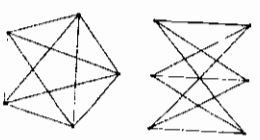


(ب)
بنية محلية فى شبكة تمثل جسيما

ولكن ماذا عن الشبكات ؟ وجد أنه من الممكن الحصول على بنيات تحافظ على وجودها وشكلها حتى مع ظهور العشوائية . مع وضع شروط لكون الشبكات مسطحة رغم ظهور العشوائية يمكن أن نحصل على أشكال مثل شكل (١٣٥) .

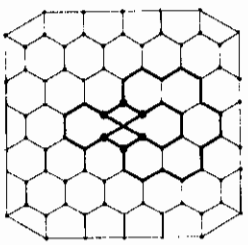


(أ)
شبكة مع تقاطع واحد بين خطين



شكل (١٣٥أ)

(ب)
القاعدتان K_5 ، $K_{5,5}$ التى تفضى إلى شبكة غير مسطحة



(جـ)
كيفية إدخال $K_{3,3}$ فى الشبكة من شكل أ

فى هذه الحالة تعتبر الأجزاء غير المسطحة جسيمات فى مثل هذه الشبكة ويمكنها التصادم بل والتلاشى عندما تتقابل ، يضاف إلى ذلك أنه من الممكن وضع قواعد لانخفاظ قيم معينة ويمثل كل هذا أساساً لتمثيل الجسيمات الأولية بهذه الطريقة .

بدون النتائج السابقة للنظم المختلفة كان من المستحيل تصور مثل هذه الأمور ولكن بعد هذه الرحلة فى عالم البرامج البسيطة أرى أنه من الممكن وصف هذه الجسيمات باستخدام الشبكات خاصة وأن وجود هذه الجسيمات مرتبط بوجود كميات انفصالية خاصة مع الشحنات وأنها ترتبط مع بعضها كنسب لأعداد صحيحة وإن كان ذلك لا ينطبق على الكتل التى نعلمها للجسيمات الأولية .

انخفاظ الطاقة وكمية الحركة يتأتى بانخفاظ عدد الوصلات فى الشبكة وما يحدث فقط هو إعادة ترتيبها .

تفاعل الجسيمات وارتفاع كمية حركتها يمكن أن يتأتى بإدخال عدد أكبر من العقد فى الشبكة التى يمتد إليها تأثير الجسيم .

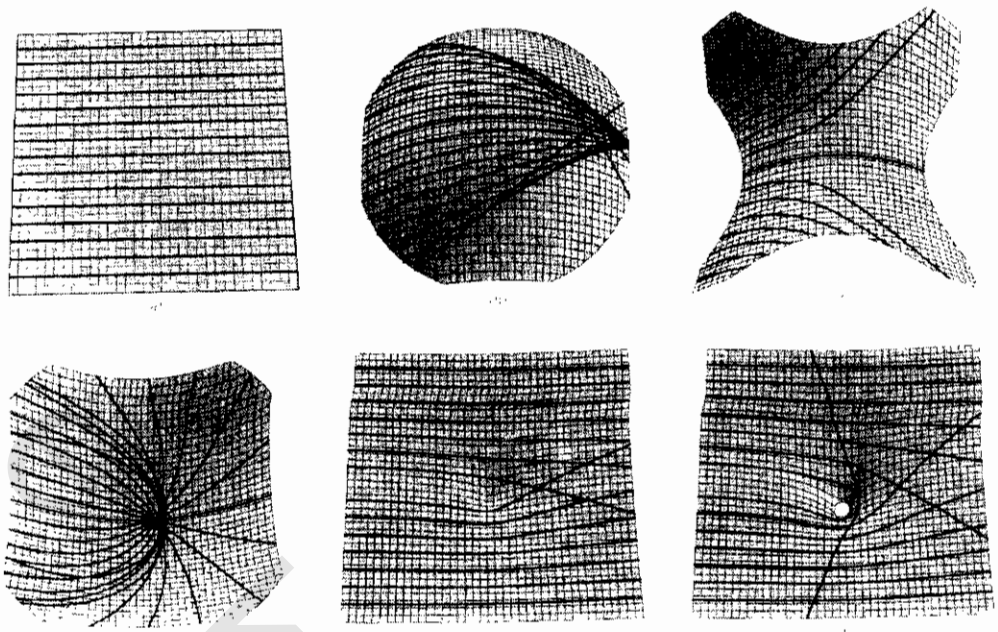
وهكذا نرى أنه يمكن تضمين الجسيمات الأولية فى المواضيع التى تعالجها الأوتوماتا الخلوية .

ظاهرة الجاذبية
The Phenomenon of Gravity

على العكس تماماً من الجسيمات الأولية يمكن أن نسأل ما هو سلوك الكون على المستوى الأعلى ؟

نظراً لأن الجاذبية تؤثر على كل الأجسام بصرف النظر عن المادة التى صنعت منها هذه الأجسام ، يوحى ذلك بأن الجاذبية خاصية الفراغ فقط ، وليس كقوة معينة تؤثر على نوع ما من الأجسام .

عند غياب قوى أو مادة بتحرك الجسم فى خط مستقيم وهو أقصر مسافة ويسمى بالخط الجيوديزى (geodesic) عندما يكون الفراغ منحنيا كما هو مبين فى شكل (١٣٦) .

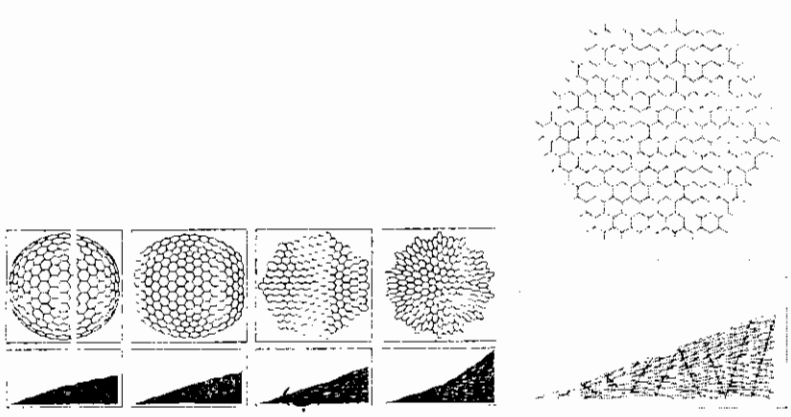


شكل(١٣٦)

يبين الشكل تأثير انحناء الفراغ على مسار الجسيمات التى تتحرك به .
تبدأ المسارات متوازية ولا تظل هكذا إذا كان الفراغ منحنيا

ولكن ماذا يحدد انحناء الفراغ ؟

يمكن تمثيل الانحناء فى الشبكات كما هو مبين فى شكل (١٣٧)



(أ)

ترتيب أشكال سداسية مناظر لشبكة فى بعدين
تمثل فراغا بلا انحناء

عند إدخال أشكال خماسية أو سباعية
يظهر انحناء الفراغ كما هو مبين

شكل(١٣٧)

obeikandl.com

فـى حالة الشبكة المستوية رأينا فيما سبق أن أبعاد الفراغ تتحدد من العلاقة (r^{d-1}) – وعند انحناء الفراغ لابد أن ندخل تصحيحا على هذا العدد .

من المهم أيضاً أن كل سمات واستنتاجات النظرية النسبية العامة تنتج بشكل تلقائى وبدون إدخال فرضيات جديدة من معالجة الشبكات مع اختيار سليم للقواعد المستخدمة مما يعطى ثقة أكبر بأن هذه الطريقة تصف بشكل منطقى سلوك الفراغ والزمان عند وجود مادة وبدونها .

الظواهر الكمية
Quantum Phenomena

من خبرتنا اليومية مع الأجسام التى نراها ونلمسها تطور الحدس عن كيفية تحرك مثل هذه الأجسام فى الظروف المختلفة . ولكن ومنذ قرن تقريباً اختلف الأمر عندما بدأ التعامل مع الإلكترون وكان لابد من ظهور فيزياء جديدة تصف سلوك الإلكترون والجسيمات الدقيقة الأخرى .

ولكن ماذا عن العلاقة بين البرامج البسيطة التى رأيناها على مدى عدة أبواب والنظرية الكمية فى الفيزياء ؟

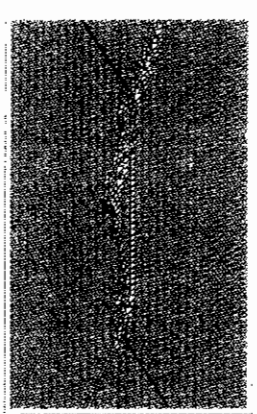
فى البداية يبدو أن الأمر غير مشجع على الإطلاق ، ولكن إذا رجعنا إلى خاصية أساسية للإلكترون مثلاً بأنه يستحيل رصده دون التأثير عليه ، أى أن عملية القياس ذاتها تغير من حالة الإلكترون نجد أن هذه الخاصية يمكن وبسهولة التعبير عنها فى إطار البرامج التى ذكرناها .

تكمن الفكرة الأساسية أننا لا يمكن أن نخرج من الكون لنرصده ، إذن نحن جزء منه وبالتالى يكون الراصد جزءاً من المنظومة كلها وهكذا نرى أن هذه الخاصية واضحة تماماً فى الشبيكة السببية .

ولكن ماذا عن التفاعلات بين الجسيمات ؟

إن «عدم التغير السببى» "Causal Invariance" للقواعد المستخدمة يسمح للجسيمات أن تتحرك بسرعات ثابتة فوق الخلفية العشوائية .

فى شكل ١٣٨ نرى تصادم بنيتين محليتين تشبه أشكال فاينمان لتفاعلات الجسيمات الدقيقة . ورغم وجود جوانب كثيرة أخرى تحدد كيفية تفاعل هذه الجسيمات ، إلا أن هناك أيضاً جانب أساسى يبدو غريبا جداً فى ميكانيكا الكم .



شكل(١٣٨)
تصادم بنيتين محليتين حسب القاعدة ١١٠
فى النوع الرابع من الأوتوماتا الخلوية

لقد وجد أنه إذا حدث فى تفاعل ما أن نتج جسيمان أوليان من جسيم ما ، فإن إجراء قياسات على أحد الجسيمين الناتجين يتأثر بما يحدث مع الجسيم الآخر . من الصعب فهم هذا فى إطار ميكانيكا الكم ، ولكن حسب نموذج الشبكة السببية فإن كل جزء من الشبكة يتأثر بما يحدث فى الأجزاء الأخرى وهذا يحدث بشكل طبيعى وجزء من المنطق العام الذى بنى عليه نموذج الشبكة السببية .

كل هذا يعطينى الثقة ويدعمها بأن كوننا هذا بكل تفاصيله يمكن وصفه بقواعد تتمثل فى برنامج بسيط ، وكل شىء نراه الآن سوف يظهر عندما يتم تشغيل هذا البرنامج وعرضه .

obeikandl.com