الباب الرابع

من الشواش إلى التعقيد

تتظاهر الديناميكا الحرارية الكلاسيكية بأنه لا وجود للزمن، حيث يتم وصف هذه النظم الثرموديناميكية من خلال تغيرات ضئيلة تستغرق وقتا طويلا جدا لكى تنتقل من حالة إلى أخرى. كذلك تفترض الديناميكا الحرارية عدم تبادل الطاقة – وبالتحديد الحرارة عبر النظام كله. ولكن كما رأينا فإنه فى مثال بسيط يتم فصل الأيدروجين عن كبريتيد الأيدروجين نظرا لوجود الانتشار الحرارى (Thermal dif-fusion) وتحدث أشياء هامة عند انسياب الطاقة إلى النظام الثرموديناميكى . هناك قدر هائل من الطاقة يتولد فى الجسم عن طريق التمثيل الغذائى للطعام، تغذى هذه الطاقة العضلات والأنشطة الأخرى فى الجسم، وتتحول كل هذه الطاقة إلى حرارة فى نهاية المطاف. إن تشتت الطاقة سمة أساسية فى الديناميكية الحرارية اللاانعكاسية. يميز انسياب الحرارة وتشتتها هذه النظم من النظم المغلقة التى جرى عنها الحديث سابقا. نخلص من هذا أنه فى النظم المغلقة فقط يمكن الحديث عن انعكاسية الزمن وانعكاسية الأحداث التى تكلم عنها بولتزمان. فى النظم المفتوحة – لابد أن نأخذ اللانعكاسية فى الاعتبار، ويظهر سهم الزمن.

كما رأينا فى الباب الثانى تنبنى الديناميكا الحرارية الكلاسيكية على تناقضات. إن تعبير «الديناميكا» نفسه يعبر عن أن النظم تتغير، ولكن فى نفس الوقت يتم حساب الأنتروبية فى النظم المستقرة، حيث لا يتغير شيء. إن الاستقرار نفسه غير ذى معنى فى هذا السياق؛ لأنه يعنى أنه لا يتغير أى شيء. إن أى نظام حى يصل إلى حالة الاستقرار فقط عندما يموت.

ولكن مازال من المفيد أن ندرس النظم الثرموديناميكية قرب حالة الاستقرار حيث تكون التأثيرات ضئيلة، ورد فعل النظم خطيا . لقد وضع العالم النرويجى لارس أونزاجر (Lars Onsager) أساسيات الديناميكا الحرارية اللاإنعكاسية. يكمن جوهر عمل أونزاجر فى التوصل إلى ما يسمى بالعلاقات التبادلية (reciprocating relations) والتى تشير إلى وجود تماثل فى هذه النظم. فمثلا فى الانتشار الحرارى عند ظهور فارق فى درجات الحرارة ينشأ فارق فى التركيز، والعكس بالعكس. أصبحت هذه العلاقات تعرف بالقانون الرابع للديناميكا الحرارية.

قام إليا بريجوجين (Ilya Prigogine) بعد ذلك بتطبيق هذه العلاقات فى تطبيقات مختلفة، لقد بيّنا فى الباب الأول أن مثل هذه النظم تستقر ليس إلى حالة

الموت عند القيمة القصوى للأنثروبية وإنما إلى حالة تتولد فيها الإنتروبية بأقل معدل ممكن.

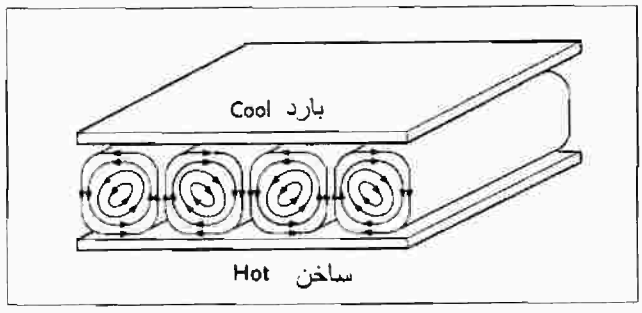
حتى الإنسان يحافظ على كيانه لسنين طويلة طالما يتزود بالطاقة اللازمة (الغذاء) إلى أن يحدث انهيار لسبب غير مفهوم حتى الآن. ولكن حياة الإنسان البالغ تختلف جذريا عن التغيرات الدرامية التى تحدث عندما ينمو الجنين من خلية واحدة حتى يكتمل – فى عملية من البديهى أنها لاخطية.

الأكثر من ذلك أن أعمال بريجوجين ورفقائه فى ما يسمى «بمدرسة بروكسل» كانت تتركز حول وضع الرياضيات الخاصة بالنظم الثرموديناميكية بعيدا عن وضع الاستقرار، حيث تؤدى التغيرات الطفيفة فى الوسط المحيط إلى تغيرات كبيرة فى النظام نفسه. دون الدخول فى تفاصيل، يلزم الإشارة إلى أن مثل هذه النظم توصف بمعادلات غير خطية وتحوى تغذية خلفية.

بالإضافة إلى ذلك انشغل بريجوجين بمحاولة كشف الغموض الذى يحيط بالزمن وطبيعته والعلاقة بين الديناميكا الحرارية وسهم الزمن، بل وكان اهتمامه منصبا على مسألة كيف يمكن أن ينتج الانتظام من الشواش – ليس الشواش اليقينى (deterministic) وإنما ما كان قدماء اليونان يعنون بالشواش – أى توزع الغازات التدريجى فى الكون عندما كان شابا – قرب النقطة التى توضح كيف نشأنا نحن من حالة الفوضى العارمة التى تلت ما يسمى بالانفجار العظيم (Big Bang) .

من أفضل الطرق لشرح ماهية هذه الظواهر اللاخطية اللجوء إلى العمل الذى أنجزه العالم الفرنسى هنرى بينارد (Henry Benard) فى عام ١٩٠٠م. وحيث أن العالم الإنجليزى لورد رالى (Lord Rayleigh) قد درس أيضا هذه المسألة فإنها تعرف بعدم استقرار رالى – بينارد ، ولكى نرى ذلك، لنأخذ إناء ونضع به طبقة رقيقة من زيت السيليكون ونسخنه من أسفل بموقد المطبخ المعتاد (لابد ألا يزيد سمك طبقة الزيت عن مليمتر واحد، والتسخين لابد أن يكون متجانسا، لكى تصبح الرؤية أفضل) يمكن أن ننثر فى الزيت قليلا من مسحوق الألومنيوم. إذا لم يكن التسخين متجانسا فسوف تظهر تيارات حمل فى بعض المناطق ويختلط الزيت ولا نحصل على شىء جديد ذى أهمية. المهم هنا هو تأكيد تجانس التسخين فتكون كل الطبقة السفلى ساخنة والعليا باردة عند فارق حرج فى درجات الحرارة تحاول كل الطبقة السفلى الصعود إلى أعلى فتتكون خلايا منتظمة تتحرك فيها تيارات السائل إلى أعلى وأخرى إلى أسفل، كما هو مبين فى شكل (٤-١): هنا لا يمكن الحكم مسبقا على أى جزء من السائل هل سيكون فى الخلية التى يدور فيها السائل مع أو ضد عقارب الساعة. لقد حدث تشعب ثنائى – أى شواش – وإن كان رالى نفسه لم يكن يعلم

ما هو الشواش. إذا ازداد فارق درجات الحرارة،ينقسم السائل إلى ضعف العدد من الخلايا، وهكذا نرى تضاعف الدورة. وإذا زاد فارق درجات الحرارة (أو ما يسمى بعدد رالى) تزداد الأمور تعقيدا، وتظهر هذه الخلايا وتختفى وتعود للتكون وهكذا . إذا أضيف دور التوتر السطحى نلاحظ تكون أشكال سداسية على سطح الزيت، أى خلايا تيارات حمل تعطى شكلا مثل قرص شمع العسل.



شكل (٤-١) فى تيارات حمل بينارد تتكون خلايا ذات مقطع عرضى على شكل مستطيل.

هكذا نرى أن انسياب الطاقة هو سر حدوث الانتظام فى الكون، وبالتالى هو سر الحياة ذاتها «إذا ازداد تعجبك من تعقد الحياة وتنوعها، فتذكر تيارات حمل برنارد على شكل الخلايا السداسية مثل قرص شمع العسل «إنها نفس الشىء».

حتى يمكننا الحفاظ على حالة خاصة لنظام ما بعيدا عن الاستقرار، لابد للنظام أن يكون مشتتا للطاقة (dissipative) ، منفتحا على الوسط المحيط، ولابد من وجود مصدر خارجى للطاقة. بالنسبة للأرض تأتى هذه الطاقة من الشمس. إن سطوع الشمس يجعل من الواضح كيف ظهر الانتظام من الشواش وكيف ظهر سهم الزمن فى كوننا هذا.

كل هذا بسبب الجاذبية. إن طاقة الجاذبية طاقة متفردة – ترتبط بكتلة الجسم وتحمل إشارة سالبة، لأول وهلة يبدو هذا غريبا، ولكن لننظر لهذه المسألة على مرحلتين: أولا تناقص قوة الجذب بين جسمين، حسب قانون التربيع العكسى، وهكذا كلما بعد الجسمان، نحتاج لقوة أقل لكى نبعدهما مسافة أكبر وهكذا – لذلك يلزم صاروخ كبير جدا لكى يضع قمرا صناعيا فى مداره حول الأرض، ولكن عندما يستقر هناك، نحتاج لصواريخ صغيرة جدا لندفع بهذا القمر إلى القمر الطبيعى أو المريخ.

كان العالم روسى المولد جورج جاموف (George Gamov) إبان الحرب العالمية الثانية يعمل فى الأسطول الأمريكى فى واشنطن ويذهب مرة كل أسبوعين

إلى أينشتين فى برنستون ليطلعه على ملف به براءات اختراع لعله يختار منها ما يفيد فى الحرب الدائرة . كان جاموف أول من وضع أسس نظرية الانفجار العظيم (Big Bang Theory) . فى إحدى الزيارات تحدث جاموف مع أينشتين بشأن العالم باسكوال چوردان (Pascual Jordan) والذى طرح فكرة جريئة بأنه إذا تصورنا أن كتلة جسم تتركز فى نقطة بداخله فإن هذه الطاقة لابد وأن تساوى ($-mc^2$) حيث m – كتلة الجسم c – سرعة الضوء، أى أنه يمكن أن نحصل على جسم (حتى وإن كان نجما) من لا شيء – نعم من لا شيء .

هذا يعنى أنه بالنسبة للكون الذى نعيش فيه يمكن أيضا أن نقول إن الطاقة الكلية للكون مساوية للصفر – ثم بدأ الانفجار العظيم والتمدد ....

يحدث التمدد وكما تصفه النظرية النسبية العامة وأن التمدد ناتج عن تمدد الكون وليس عن حركة المجرات التى نعيش فى إحداها – وهى درب التبانة – وهناك البلايين من المجرات الأخرى.. بناء على معدل التمدد الحادث يمكن حساب عمر الكون، وقد وجد أنه تقريبا ١٤ بليون سنة. مما نراه وحيث أن الضوء ينتشر بسرعة ثابتة نجد أنه عندما نرصد نجما ليبعد عنا بعشرة ملايين سنة ضوئية فإن ما نرصده يدلنا على ما حدث منذ عشرة ملايين سنة. من هذه المشاهدات نجد أن الكون منذ ٤٠٠,٠٠٠ سنة كائن يتكون من سحابة متجانسة من الغاز الساخن المتأين المسمى بالبلازما بدرجة حرارة حوالى ٦٠٠٠° م مثل درجة حرارة سطح الشمس الآن.

بردت بالتدريج كرة النار (مثلما يبرد الغاز الساخن عندما يتمدد الصندوق الذى يحويه) وتكثفت بعض أجزائه، وتكونت على شكل أقراص ضخمة متمدد وازداد عدم الانتظام فى الكون ووصلت درجة حرارة الفراغ بين المجرات إلى – ٢٧٠°م (أى قرب ما يسمى بالصفر المطلق) والشاهد على ذلك صور الإشعاع الكهرومغناطيسى الذى يرصده علماء الفلك الكونى من الاتجاهات المختلفة الذى يصل إلينا من الأبعاد السحيقة فى هذا الكون.

على خلاف ما نراه عندما نضع غازا فى صندوق، فنهتم فقط بما يحدث من تصادمات بين جزيئات الغاز مهملين تماما دور قوى الجاذبية بين الجزيئات – تزداد الفوضى وتتزايد الأنتروبية . وصف بول دافيز (Paul Davies) هذا بقوله «إن الجاذبية تتسبب فى حدوث حالة عدم اتزان (information instability) كمصدر للمعلومات – كلما ازدادت المعلومات نقصت الأنتروبية. يمكننا أيضا اعتبار أنه عندما تنساب المعلومات من مجال الجاذبية وعندما تنهار سحابة من الغاز فإن الجاذبية تبتلع الأنتروبية لتذهب هى وطاقتها السالبة. إنها الطاقة السالبة للجاذبية التى تمكنها من

ابتلاع الانتروبية، مما يفسر عدم كون الكون فى حالة استقرار ثرموديناميكى فى الوقت الحاضر.

لكن لندع جانبا هذه الصورة الكبيرة عن الكون ونركز على ظهور الحياة على الأرض.

إن الجاذبية هى المسئولة عن تولد الانتظام فى الكون حتى وصلت إلى المستوى الحاضر وظهرت مخلوقات عاقلة (هى نحن) لنتساءل كيف حدث كل هذا؟ دون الدخول فى تفاصيل دقيقة فإن الجاذبية هى المسئولة عن الطاقة الحركية الهائلة التى اكتسبتها الجسيمات عن تسارعها ثم تلاقيها لكى نبدأ التفاعلات الحرارية النووية. أدى هذا إلى وجود توازن واستقرار ثرموديناميكى بين النجوم والوسط المحيط بكل نجم. وهكذا تنساب الطاقة إلى خارج النجم حتى تتساوى درجات الحرارة بداخله، أى أن سهم الزمن تحدد ثرموديناميكيا من الانفجار العظيم إلى المستقبل، إذن فالجاذبية هى التى تحدد إتجاه سهم الزمن.

إن كوكبا مثل الأرض يمثل نظاما مشتتا للطاقة، مفتوحا، تأتيه هذه الطاقة من الشمس . بهذا الانسياب من الطاقة تستمر الحياة على الأرض وتحفظ الكوكب فى حالة اتزان على حافة الشواش.

تستهلك النباتات هذه الطاقة فى عمليات التمثيل الغذائى، تتغذى الحيوانات على هذه النباتات، أما الحيوانات آكلة اللحوم فتأخذ طاقتها من الحيوانات الأخرى. لكن كيف تستخدم هذه النظم هذه الطاقة فى تنظيم نفسها؟ قام عالم الرياضيات الرائع آلان تيورينج (Alan Turing) (١٩١٢ - ١٩٥٤م) بدراسة ذلك وكان يركز على كيفية نمو الجنين من خلية وحيدة. لقد أُهملت أعمال تيورينج لفترة طويلة ولم ينتبه لها العلماء إلا بعد وفاته.

ولد تيورينج فى لندن فى عام ١٩١٢م، واشتُهر بأنه كان عضو الفريق الذى فك شفرة الاتصالات الألمانية خلال الحرب العالمية الثانية، كان اهتمامه الأساسى هو اختراع «الحاسوب العالمى» ما يسمى الآن «بآلة تيورينج» والذى باستطاعته حل أى مسألة. لقد كان مهتما بمسألة كيف يتكون الذكاء الإنسانى. كتب تيورينج مقالة فى عام ١٩٣٨م بعنوان «عن الأعداد القابلة للحوسبة» والتى قدم فيها لفكرة «آلة تيورينج» كان كل ذلك فى ذاك الوقت «تجربة ذهنية» ولكنها وضعت القاعدة لكل نظم الحاسبات الحالية وألقت الضوء على كيفية تكون وظهور النظم المعقدة.

كانت فكرة آلة تيورينج تكمن فى أنها تستخدم شريطا من الورق طوله لا نهائى مقسم إلى مربعات بها أرقام أو رموز يمكن قراءتها، ومن ناحية المبدأ يمكن محوها

وكتابة ورموز أخرى مكانها، لقد استبدل الشريط الورقى الآن بالشريط المغناطيسى أو بالقرص الصلب وغيرها. عندما تقرأ الآلة الرقم الموضوع فى مربع تعرف ماذا كانت سوف تتحرك للأمام أو للخلف؛ لتحسب عددا جديدا، ومتى تضعه فى هذا المربع وهكذا.

أثبت تيورينج أن مثل هذه الآلة قادرة على حل أى مسألة طالما يمكن وضعها بصورة منطقية «بلغة رمزية». كل هذا أصبح الآن معروفا لأى مبرمج مبتدئ – كيف يعمل الحاسب الآلى. ولكن فى عام ١٩٣٦م كان هذا إنجازا هائلاً، حيث جذب بذلك تيورينج الانتباه إلى تطبيق نفس الفكرة لدراسة كيف تتطور النظم إلى نظم معقدة، أو حتى إلى فهم كيف تنشأ الحياة. شرط هام لنجاح هذه الآلة هو أن تكون المسألة قابلة للضغط من وجهة نظر البرمجة.

بنهاية الحرب العالمية الثانية بدأ تيورينج فى بناء مثل هذه الآلات، وخلال الحرب طوّر الفريق الإنجليزى فى بلتشلى بارك (Bletchley Park) أول أجهزة حاسبات رقمية. لقد كانت أعمال تيورينج والفريق الذى فك رموز الشفرة الألمانية على وشك تحقيق حلم رتشاردسون فى إعادة اكتشاف الشواش، وذهب تيورينج أبعد من ذلك وكتب مقالة لم تنشر فى حياته، إذ بدأ فى الربط بين مثل هذه الآلات الحاسبة والشبكات العصبية للإنسان، كمحاولة لتبيان أن النظم الميكانيكية المعقدة يمكن أن تتعلم من التجربة وليس بالضرورة من خلال برمجتها فقط. بدأ تيورينج فى مانشستر فى عام ١٩٥٠م فى تطبيق هذه الأفكار على النظم البيولوجية والمخ البشرى. لقد تأثر تيورينج فى شبابه بكتاب «عن النمو والشكل» (On Growth and Form) للكاتب دارسى طومسون (D'Arcy Thompson) ولولا أنه انتحر فى عام ١٩٥٤م لاستطاع إكمال ما يعتبر أكبر إسهام فى العلم كله.

بالطبع لم يكن تيورينج يعلم بأعمال فرانسيس كريك وجيمس واطسون Fran-cis Crick and James Watson عن الحمض النووى (DNA) فى كامبريدج والتى نشرت فى عام ١٩٥٣. كان اهتمام تورينج منصباً على كيفية تطور الجنين من شكل كروى لاسمات له مكون من مجموعة من الخلايا . من الناحية الرياضية هى عملية انهيار التماثل، وهذه العملية معروفة للفيزيائيين فى مجالات أخرى (مثل تيارات حمل بينارد) ثمة انهيار التماثل فى عملية أخرى، وهى فقدان المغنطة فى المواد الفيرومغناطيسية، والتى عند تسخينها إلى درجة حرارة معينة تسمى بدرجة حرارة كورى، والذى اكتشف هذه الظاهرة فى عام ١٨٩٥م، درجة الحرارة هذه بالنسبة للحديد هى ٧٦٠°م. عند درجة الحرارة هذه، تغلب الطاقة الحركية للجزيئات على تأثير الترابط المغناطيسى، وتفقد المادة مغنطتها، وتسمى هذه العملية بتحول

الحالة، مثلها مثل تجمد الماء عند درجة حرارة الصفر المئوى. النقطة الهامة هنا أن مثل هذه الرؤية لم تطبق على أى من النظم البيولوجية.

نشر تيورينج فى عام ١٩٥٢م بحثا عن انهيار التماثل فى خليط متجانس من المواد الكيميائية بواسطة الانتشار الذى يحدث بين هذه المواد، كان عنوان هذه المقالة «القاعدة الكيميائية وراء التكون التشكيلى». لم يكن عمل تيورينج يتعلق بقطرة حبر تنتشر فى كوب ماء ونتصور الحبر يبدأ فى التجمع ثانية، أى فى عملية معكوسة كان عمل تيورينج يتعلق بمادتين كيميائيتين متفاعلتين. تعتمد العملية كلها على وجود ما يسمى بالحافز والذى يحفز تفاعلا كيميائيا معينا على النقيض توجد مواد تبطئ تفاعلا كيميائيا معينا أيضا تسمى هذه المواد بالكابح.

لقد اختار تيورينج نظاما، بحيث يكون الحافز لإنتاج مادة (A) هو نفسه حافزا لإنتاج مادة أخرى (B)، ولكن المادة B كابح للتفاعل الذى ينتج المادة A. كان اقتراح تورينج أنه فى لحظة تكون المادتين A , B سوف ينتشران فى الخليط بمعدلين مختلفين، بحيث فى بعض الأماكن سوف يكون هناك تركيز أكبر للمادة A وفى أماكن أخرى سوف يكون هناك تركيز أكبر للمادة B. استخدم تورينج معادلات مبسطة، لأن الحاسبات فى ذلك الوقت كانت قاصرة وإمكاناتها محدودة – وكانت كل حساباته على الورق، مما يعنى أنه استخدم معادلات خطية بدلا من المعادلات اللاخطية الحقيقية . وجد أن هذه المعادلات غير مستقرة بشكل كبير، وأى خطأ بسيط فى أى خطوة يؤدى إلى خطأ كبير فى الخطوات التالية. رغم كل هذا التبسيط كانت الصورة واضحة. وجد تيورينج أن مفتاح الموضوع كله يكمن فى التنافس بين المادتين A , B ولابد للمادة B أن تنتشر بسرعة أكبر من انتشار المادة A ، بحيث يكون تكون المادة A فى حيز ضيق، أما كبح المادة B لتكون A سوف ينتشر فى حيز أوسع وأوسع فى الخليط كله. انتشار المادة B بسرعة أكبر سوف يسمح بتكون المادة A بقدر معقول.

إذا افترضنا أن لون المادة A هو الأحمر، وأن لون المادة B هو الأخضر، فإنه بدلا من إناء يحوى مخلوطا عديم اللون، سوف تحصل على إناء يحوى خليطا أخضر اللون به بقع حمراء، وتظل الصورة مستقرة طالما نغذى الخليط بالمكونات الأولية ونزيح المواد الناتجة من التفاعل. مرة أخرى حصلنا على نظام مفتوح نحافظ عليه فى حالة عدم اتزان. وصف تيورينج أيضا نظما ديناميكية، حيث تتوالى وتتحرك المناطق ويتغير لونها، مما يؤكد أن النظام ديناميكى. لقد سمى تيورينج الحافز «الفاعل» وسمى الكابح «بالسم». أهم جانب فى أعمال تيورينج أنه قدم حلا كيميائيا لانهيار

التماثل وتكون أشكال فى نظام كان فى البداية متجانسا - هذا إذا كان هناك نظام كيميائى يسلك هذا السلوك.

برغم الأهمية والأفكار الخلاقة التى كانت بهذه المقالة التى نشرها تيورينج، لم يتنبه أحد لكل هذا فى الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين، ربما لأنه لم تكن هناك منظومة كيميائية يمكن أن تسلك هذا السلوك. لم يلتفت إلى عمل تيورينج هذا أى من العلماء فى مجالات الكيمياء أو علوم الحياة أو غيرها، إلا شخص واحد - الروسى بوريس بيلاأوسف "Boris Belousov" والذى كان يعمل فى وزارة الصحة السوفيتية ولم ير أعمال تيورينج ولا تيورينج علم بعمل بيلاأوسف حتى مماته المفاجئ.

كان بيلاأوسف يدرس كيف يتكسر الجلوكوز فى الجسم وتتحرر الطاقة الكامنة به. إن تكسر الجلوكوز يتحفز بواسطة إنزيم مثله مثل عمليات الأيض (Metabolism) الأخرى. أعد بيلاأوسف محلولا، ولدهشته وجد أن المحلول يغير لونه من الحالة الشفافة التى لا لون لها إلى الأصفر ويعود مرة أخرى إلى الشفاف وبشكل دورى متتالٍ ومتكرر، لقد كان ما يراه بيلاأوسف يناقض القانون الثانى للديناميكا الحرارية وكان الزمن يغير من اتجاه سهمه إلى الأمام وإلى الخلف. فى نفس الوقت لم يكن لنعقل أن كلتا الحالتين أكثر استقرارا (كون المحلول عديم اللون وعندما يتلون باللون الأصفر) من كل الحالات الأخرى.

لم يكن ليندهش بيلاأوسف لو كان يعلم بأعمال تيورينج أو عمل عالم الرياضيات النمسوى ألفريد لوتكا (Alfred Lotka) (١٨٨٠ - ١٩٤٩م) والذى توصل إلى نموذج رياضى لنظام كيميائى متذبذب بهذه الطريقة. ثمة عالم آخر الإيطالى ڤيتو ڤولتيرا (Vito Volterra) (١٨٦٠ - ١٩٤٠م) وجد أن معادلات لوتكا تصف كيف أن تجمعات الأسماك تتذبذب بهذه الطريقة عندما تتفاعل النوعيات المفترسة والنوعيات الفريسة، فيمر تجمع الأسماك بدورات تناقص وأخرى تزايد بشكل دورى. نشر ڤولتيرا عمله هذا فى الثلاثينيات من القرن العشرين.

فى عام ١٩٢١م وجد العالم الكندى المولد وليام براى (William Bray) (١٨٧٩ - ١٩٤٦م) - والذى عمل بجامعة بركلى فى كاليفورنيا - أن التفاعل الكيميائى بين بيروكسيد االايدروجين وأيوداته (Hydrogen Peroxide and Io-dates) تنتج يودا وأكسچين بنسب تتذبذب بالطريقة التى وصفها لوتكا. ورغم أن براى كتب إنه يؤكد صحة نموذج لوتكا إلا أن كل زملائه لم يتقبلوا منه هذا العمل، وقالوا إن شيئا ما خاطئ فى تجاربه. كان كل من لوتكا، ڤولتيرا وبراى قد ماتوا عندما حاول بيلاأوسف نشر مقالة عن بحثه فى عام ١٩٥١م، أى قبل أن

يحاول تيورينج أن ينشر بحثه الرائع بعام واحد. بنفس الروح رفضت مقالة بيلاأوسف حيث أن التجربة تناقض القانون الثانى للديناميكية الحرارية.

كان للقانون الثانى للديناميكية الحرارية مكانة عالية فى العلوم بحيث أن كل نظرية أو تجربة تناقضه ترفض دون نقاش، وبل ويُتهم مقدمها بالخطأ الجسيم أو التلفيق، كما ورد فى كتاب العالم البريطانى أرثور إدينجتون (Arthur Eddington) وهو العالم الفذ الذى نشر كتابا بعنوان «طبيعة العالم الفيزيائى» (The Nature of Phyical world) فى عام ١٩٢٨ والذى يقضى بأن القانون الثانى للديناميكا الحرارية فوق كل شىء. إننى بهذا لا أقضى بعدم صحة القانون الثانى، ولكن أقول بأنه لا يسرى على النظم غير المستقرة حين يكون للجاذبية دور فعال.

ولكن كل هذا لم يكن معروفا فى عام ١٩٥١م،عندما رفضت مقالة بيلاأوسف كان رد فعله شديدا، وأصيب بإحباط شديد وترك العمل فى هذا المجال تماما. حاول زميله شنول (Shnoll) أن يحثه على المثابرة ولكن دون جدوى. فى محاولة أخرى نشر بيلاأوسف ملخصا من صفحتين لتقرير مطول يحمل عنوانا مختلفا، ونُشر بالروسية فقط، ولم يُعرف عنه شىء خارج الاتحاد السوفيتى.

لم يفقد شنول حماسه لعمل بيلاأوسف وكلف أحد طلابه وهو أناتولى جابوتينسكى بمواصلة هذا العمل. توصل جابوتينكسى إلى خليط تظهر فيه هذه التغيرات التى شاهدها بيلاأوسف وبشكل درامى أكبر. نشر جابوتينسكى هذه النتائج فى مؤتمر عالمى فى براج فى عام ١٩٦٨م ، وانبهر علماء الغرب بسلوك هذه المخاليط والتى سميت بتفاعلات بيلاأوسف – جابوتينسكى، ولقى قبولا؛ لأن هؤلاء العلماء كانوا مطلعين على أعمال تيورينج، ولكنهم لم يتصورا أن ذلك ينطبق على تفاعلات كيميائية حقيقية.

كان إليا بريجوجين أول شخص يضع نموذجا رياضيا يصف ما يحدث فى تفاعلات بيلاأوسف – جابوتينسكى. كان بريجوجين قد قابل تيورينج فى إنجلترا فى عام ١٩٥٢م، بعد قليل من نشر تيورينج لعمله الخاص بالتفاعلات الكيميائية التى تعطى «أشكالا» (Patterns)، توصل بريجوجين إلى تحضير مادتين كيميائيتين تتحولان إلى مادتين أخرتين بعد تحولهما إلى مادتين وسيطتين انتقاليتين تتولدان ثم تتحولان بعد فترة زمنية قصيرة. سمى هذا النموذج باسم فاعل بروكسل (Brusselator) – كل ما يهمنا فى هذا – دون الدخول فى تفاصيل – أن هذه التفاعلات تتضمن لاخطية وتغذية خلفية. هذه التفاعلات تظهر ضرورة تعديل القانون الثانى حتى يمكن تطبيقه على النظم البعيدة عن حالة الاستقرار، والتى طورها بريجوجين ورفاقه.

فى السبعينيات من القرن العشرين حدث تقدم كبير فى نمذجة ودراسة النظم الكيميائية التى تظهر بها بنيات تنشأ عن العوامل التى تؤدى إلى أن هذه النظم تنظم نفسها بنفسها، إضافة إلى ذلك توصل الكيميائيون إلى تفاعلات كيميائية تولد موجات على شكل دوائر مركزية وأشكال حلزونية من اللونين الأحمر والأزرق، والتى تنشر بعيدا فى الوسط وتتباعد عن مصدر تولدها، وأخيرا فى تسعينيات القرن العشرين تمكن الكيميائيون من توليد أشكال ثابتة (stationary) (موقوفة) بها بقع مثل تلك التى وصفها تيورينج فى السبعينيات من القرن العشرين. قامت مجموعة من الباحثين فى جامعة أوريجون بالتوصل إلى وصف الخطوات التى تتم بها هذه التفاعلات – وحضّروا فعلا ستة مركبات كيميائية تتفاعل بعضها مع البعض فى خمس خطوات مميزة مستخدمة خاصة الحافز التلقائى (Autocatalysis). أصبح هذا النموذج يسمى بأوريجوناتور (Oregonator). الأبعد من هذا أن هذه التفاعلات تستقر عند حالة معينة طالما لا تضاف المركبات الكيميائية التى تبدأ التفاعل. عند إضافة هذه المركبات تبدأ التفاعلات مرة إخرى، وهنا نقول إن النظام تشعب تشعبا ثنائيا (Bifurcation) من زمن دورة قدره الوحدة إلى زمن دورة قدره اثنان. فى ظروف معينة يمكن أن يتشعب النظام إلى نظام رباعى زمن الدورة وهكذا. بعد هذا يمكن أن ينتقل النظام إلى حالة الشواش. كل هذا يمكن وصفه من خلال الفراغ الطورى – الدورات الحدية – الجاذبات مثل الأمثلة السابقة التى سقناها.

برغم أن كل هذا أخذنا بعيدا عن الفكرة الأساسية لتورينج التى تحاول وصف كيفية تطور الجنين، إلا أن كل هذا مفيد تماما لهذا الموضوع، وذو علاقة وثيقة به كما سنرى.

نعنى بهذا نجاح استخدام نموذج تورينج فى وصف تكون الخطوط والشرائح والبقع على جلود وفروات الثدييات. رائد هذا النوع من البحث هو العالم جيمس مارّاي (James Murray) ، والذى نشر فى مجلة سينتيفك أمريكان (Scientfic American) فى عام ١٩٨٨م بعنوان «كيف يكتسب النمر بقعا على جلده»، وعرض مراى هذه الرؤى أيضا فى كتابه عن «البيولوجيا الرياضية (Mathematical Biology) . وجد طراى أن الخطوط على الحمار الوحشى، والبقع على جسم الزرافة وحتى غياب أية أشكال على أجسام الفئران والأفيال، كل ذلك يمكن تفسيره بعملية بسيطة، عبارة عن انتشار مادة فاعلة "Actuator" ومركبات كيميائية مثبطة (كابحة) على سطح الجنين الذى ينمو وذلك فى مرحلة حاكمة من مراحل نموه، لم يثبت أحد حتى الآن أن هذه الطريقة هى التى تحدث فعلا، ولكن ما يمكن قوله أن هذا يمكن أن يحدث بهذه الطريقة فى مرحلة ما وبلغة الحمض النووى (DNA)

حيث تختزن الشفرة التى تصف بنية جسم ما؛ والتى تقضى «بإفراز هاتين المادتين الكيميائيتين عند هذه المرحلة من التطور» مما يستلزم اختزان كمية صغيرة من المعلومات، مقارنة بالتسليم بوجود بصمة وراثية تحدد بالضبط شكل ومكان كل بقعة أو خط على جسم الكائن البالغ. أكثر من هذا – إذا كانت هناك عملية واحدة تصف كيف تتكون الأشكال المختلفة لحيوانات مختلفة، فهذا أفضل من افتراض وجود بصمات مختلفة لكل حيوان ولكل فرد من نوع هذا الحيوان، وفوق ذلك كله، فهذه الرؤية تساهم أيضا فى فهم عملية التطور ذاتها كما سنرى. لابد أن نذكر هنا أن هذا المدخل تنطبق عليه الحكمة المأثورة للفيلسوف الإنجليزى وليم أوكهام(*) أن لابد من الأخذ بالحل الأبسط ما لم يكن هناك موانع أخرى أساسية، وتسمى هذه المأثورة «بالحد القاطع لأوكهام "Okham's Razor"

من هذا المنطلق نجد أن عملية تورينج هى الحل الأبسط لهذا اللغز. إن الأشكال التى نراها على أجساد الحيوانات الثديية هى إما ألوان الجلود أو ألوان الشعر الموجود على أجسامها، فى أى حالة فهى أشياء ما فى الجلد التى تحدد اللون. من المدهش أن هذه الألوان هى الأبيض، الأسود والبنى مع بعض الألوان البرتقالية – الصفراء – تتحدد هذه الألوان بوجود أو عدم وجود صبغات تفرزها الخلايا فى الجلد وتحدد كمية هذه الصبغات شدة اللون، اليوميلانين (eumelanin) يعطى إما اللون الأسود أو البنى والفيوميلانين (Pheomelanin) الذى يعطى اللون الأصفر أو البرتقالى (غياب أى من الصبغتين يترك الجلد أبيضا. إن نجاح مراى يكمن فى أنه بالنظر إلى الأشكال الموجودة فى الواقع على جلود الحيوانات هى نفس الأشكال التى تتولد عن تفاعلات تيورينج مع وجود فاعل وكابح على سطح جسم الجنين فى الأسابيع الأولى بعد التلقيح (هناك قرينة بأن ذلك يحدث بالنسبة للحمار الوحشى خلال فترة ٢١ – ٣٥ يوما بعد التلقيح مع فترة حمل تبلغ ٣٦٠ يوما)، إذا كان وجود إحدى المواد الكيميائية تسبب فى بدء الخلية إفراز الميلانين، سوف تكون النتيجة أشكالا مشابهة لتلك التى تحدث فى تجربة «الإناء الضحل» حسب تفاعلات بيلاأوسف – جابوتينسكى، وسوف لا تظهر إلا عندما تفرز مادة كيميائية أخرى وتعطى إشارة لكل خلايا الجلد، ولكن سوف تتأثر فقط تلك الخلايا التى تحوى الميلانين والتى تحددت سابقا فى تفاعل تيورينج.

وحيث إن هذه العملية عبارة عن موجات تنتشر عبر الأسطح، تتأثر نتائج هذه العملية باتساع وشكل هذه الأسطح. يورد مراى مثالا مناظرا من انتشار الموجات الصوتية الناتجة عن غشاء متذبذب، وتتحدد نوعية هذه الموجات حسب اتساع الوسط

(*) وليم أوكهام (Willam Okham) – فيلسوف وعالم منطق إنجليزى (١٢٥٨ – ١٣٤٩م).

الذى تنتشر فيه. إذا كان السطح صغيرا جدا فسوف لا تعمل ميكانيكية تيورينج، ويمكن أن نقول إن «طول الموجة» أكبر من السطح نفسه، أو للتوضيح، كاستخدام فرشاة كبيرة لرسم أشكال صغيرة جدا. من ناحية أخرى إذا كان السطح كبيرا جدا فليست هناك فرصة لظهور هذه الأشكال، وذلك مثل تواجد أشخاص عديدة فى فرقة صغيرة والكل يتحدث بصوت عال، وتكون النتيجة خلفية متوسطة من الضوضاء ليس لها شكل معين، فمثلا عند التدقيق فى جسد الفيل نجد أن شعيراته لا تحمل نفس اللون ولكن النظر من بعد يعطى انطباعا بأنه جسد بلا لون، وعندما يكون هناك ازدحام فى غرفة والكل يتحدث بصوت عال،يمكن تمييز ما يقوله فرد واحد عند الاقتراب منه جدا. الخلاصة أنه عندما يكون الحيوان صغيرا جدا أو كبيرا جدا فإن جلده يخلو من أية أشكال، وهذا ما نراه يحدث فى الطبيعة.

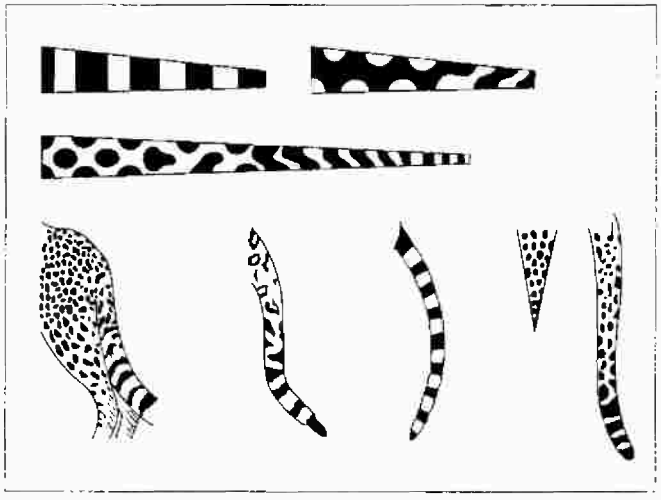
ولكن ماذا عن الحالات التى تقع بين هذا وذاك؟ وُجد أن أول شكل يمكن أن يحدث هو الشرائط العريضة ثم شرائح يتبعها بقع ثم بقع كبيرة، ولكن بالنسبة للأسطح الكبيرة تتحول البقع الكبيرة إلى لون متجانس، وهكذا نرى أن هذه الأشكال تتراوح بين البقع على جسم الفهد، والشرائط على جسم النمر أو الحمار الوحشى إلى البقع الكبيرة على أجسام الزرافات.

ولكن ليس بالضرورة أن يحمل الحيوان على جسده أية أشكال، يمكن لهذه الميكانيكية أن تنغلق، ولذا فإن الدب القطبى يكون لونه بالكامل أبيضا.

من الشواهد المقنعة، الأشكال التى تتكون على ذيول الحيوانات فى عائلة القطط الكبيرة، بالنسبة للذيول الأسطوانية، تتكون أشكال إما بقع أو شرائط دائرية أو شرائح حول الذيل، كما فى شكل ٤-٢.

سمة أساسية فى هذا النموذج أن نوع الأشكال التى تتكون لا يعتمد على حجم الحيوان البالغ، وإنما على حجم وشكل الجنين عندما تبدأ عملية تيورينج. فى نفس الوقت هناك ارتباط بين حجم الجنين وحجم الحيوان البالغ، فحجم جنين الفأر أقل من حجم جنين الفيل بالتأكيد، ولكن أهمية حجم الجنين تبدو واضحة فى الفارق فى الشرائح التى تتكون على جسدى نوعين من الحمار الوحشى إيكوى بورتشيللى "Equus Burchelli" ونوع إيكوس جريفى "Equus Grevyi" . يحمل الأول شرائح أعرض يجلعها متميزة عند النظر إليها وهى الواحدة بجانب الأخرى رغم أن حجم الحيوانين البالغين متساويين تقريبا. وجد ج. ب. ل. بارد "J. B. L. Bard" فى السبعينيات أن الأشكال التى نراها على نوع بورتشيللى لابد وأن تكون بدأت على الجنين عندما كان عمره ٢١ يوما، ولكن بالنسبة لنوع جريفى فيكون عمره خمسة أسابيع. يظهر جليا هنا دور الوراثة والوسط المحيط، وقد تأكد هذا

عند مولد أول قط محور جينيا فى عام ٢٠٠٢م. نظرا لأن تشكل الألوان فى الحيوانات متعددة الألوان يعتمد على موروثاتهم الجينية بالإضافة إلى كمية التغذية التى يتلقاها الجنين، لم تكن الألوان التى حملها القط المحور مثل تلك الألوان التى تحملها أمه، رغم أنهما يحملان نفس الحامض النووى (DNA) .



شكل (٤-٢) الأشكال التى تتكون على جسم حيوان نتيجة الانتظام الذاتى للعمليات الكيميائية خلال فترة نمو الجنين ترتبط بحجم الحيوان. تؤدى عمليات الانتشار الكيميائية إلى تكون شرائح على الأسطح الصغيرة، وبقع على الأسطح الكبيرة.

ينقلنا كل هذا إلى التمعن فى عملية التطور ذاتها، إن الفارق بين الشكلين اللذين يتكونان على جلود نوعى الحمار الوحشى دليل تغير موعد بدء عمل نموذج تيورينج. كما نعلم فليس لأى شكل منها ميزة تطورية، ما يعنى أنه ليس كل سمة تشريحية يمكن أن تكون تأقلمية (adaptive) ولكن إذا كانت هناك ميزة فى كون الشرائح أضيق (أو أوسع)، ربما يكون وسيلة للتخفى، بهذا من السهل أن نرى أن التفاوت بين كل فرد وآخر هو مادة خام لكل هذا النوع من الحمار الوحشى للاستجابة لضغوط الاختيار، ويتم كل هذا بمجرد تغير توقيت حدث ما معين خلال تطور الجنين، وهذه تعتبر أبسط أنواع التحور (mutations) التى يمكن تصورها، وهناك الأكثر والأكثر الذى سوف نورده بخصوص التطور.

هناك بجانب ميكانيكية تكون الأشكال المميزة للثدييات، والتى كما رأينا تؤكد دور تفاعلات بيلاأوسف – جابوتينسكي ، إلا أننا لن نورد أمثلة أخرى، حيث إنها تتم بنفس الصورة طبقا لنموذج تيورينج.

جانب أساسى آخر، هو الخلط الذى يحدث بين مفهومى التطور ومبدأ دارون

عن عملية «البقاء للأصلح» والعلاقة بينها. إن التطور هو حقيقة نراها فى الكائنات الحية الآن وفى الحفريات التى تم الكشف عنها، مثلها فى ذلك مثل دوران القمر حول الأرض وسقوط التفاحات للأسفل، تصف ميكانيكا نيوتن هذا النوع من الحركة، ولكن لابد لنا أن ننتقل إلى النظرية النسبية عند محاولة وصف انهيار النجوم. إن نظرية دارون بالنسبة للتطور مثل نظرية نيوتن بالنسبة لحركة الأجسام، حيث تمثل نظرية دارون أساس تفسير عملية التطور ولكن لابد من تعديلها. تقضى نظرية دارون بتطور الأنواع من جيل لآخر مما يؤدى أيضا لتنوع واختلاف بين أفراد الجيل الواحد، إن الأفراد الذين يتوافقون بأفضل قدر مع البيئة المحيطة يكون أداؤها فى الحياة أفضل ما يمكن من حيث الحصول على الغذاء الكافى، والتكاثر (وهذه نقطة فى غاية الأهمية)، ولذا يخلفون عددا أكبر من «الصغار» للجيل التالى. وحيث أن الصغار يشبهون الآباء فإنهم سوف يكتسبون الصفات الجيدة التى كانت سببا فى نجاح آبائهم، وربما ببعض الفروق الطفيفة، وهكذا فى الأجيال التالية.

هذه هى عملية الانتقاء الطبيعى والتى تُبقى على الأصلح (من ناحية التأقلم وليس القوة) وإن كانت الصفتان يمكن أن يحدثا معا، وهكذا فى كل جيل. المثال الكلاسيكى لذلك هو أنه إذا كانت الحيوانات ذوات الرقبة الطويلة أقدر على الوصول إلى الأوراق على قمم الشجر والتى بها كمية أكبر من العصير النباتى فإن ذلك يساعدها على حياة أفضل وتترك أبناءً أكثر – أما الحيوانات قصيرة الرقبة فإنها فاقدة لهذه الخبرة، وبالتالى تترك أبناءً أقل. بهذا نجد أنه من جيل لآخر تطول رقاب هذه الحيوانات كما هو الحال بالنسبة للزرافات، وهناك فروق فردية بين الزرافات من حيث طول الرقبة. وهكذا نرى أن التنوع هو سمة أساسية من سمات الحياة ذاتها. تظهر نظرية دارون كيف أن الكائنات تؤقلم نفسها بحيث تتوافق مع البيئة المحيطة مثل المفتاح بالنسبة للقفل، وتسمح هذه النظرية أيضا بفروق فردية كبيرة أحيانا تفوق الفروق بين نوعين من نفس الحيوان، مثلما رأينا بالنسبة للحمار الوحشى. لقد اتسع نطاق دراسة ميكانيكية تيورينج فى أعمال ملراى وغيره عن صفات أخرى فى الكائنات الحية. فى هذا الصدد نذكر أعمال هانز ماينهارت (Hans Meinhardt) وأندرية كوخ (Andre' koch) اللذين طورا نموذجا رياضيا لكيفية عمل نموذج تيورينج الذى يقضى بإفراز المادة الفاعلة (Actuator) فى أماكن عشوائية على جلد الجنين خلال نموه. كانت الميزة فى هذا النموذج أنه يؤدى إلى أشكال أكثر تعقيدا رغم أن الكيمياء بسيطة جدا. لقد ترسخ هذا المبدأ، بحيث يؤمن الكثير من البيولوچيين بأنهم تمكنوا من رصد بعض الحيوانات البحرية التى توضح هذه الميكانيكية أثناء عملها. فى السمكة الملائكية (Pomachantus imperator)

(Angelfish) توجد على جسم الذكر شرائط طولية تمتد من الرأس للذيل. عند نمو السمكة تتكون شرائط جديدة بحيث تبقى الشرائط القديمة بنفس الحجم وتظل الفراغات بين هذه الشرائط بنفس الاتساع. تنمو الشرائط الجديدة على شكل تفرعات من الشرائط القديمة كما يتفرع شريط السكك الحديدية حتى يصبح شريطين. تمكن كل من شيجيروكوندو (Shigero Kondo) وريهيتو أساهى (Rihito Asahi) فى جامعة كيوتو (Kyoto University) من تطوير نموذج رياضى يعطى نفس هذه الأشكال باستخدام نموذج يتورينج. يؤكد هذا أن ميكانيكية تورينج مازالت تعمل بالحيوان البالغ وليس فقط فى الجنين أثناء نموه، مما يعطى الأمل فى اكتشاف هذه المواد الكيميائية التى تؤدى إلى هذا التطور.

استخدمت نماذج مشابهة لدراسة الأشكال التى تتكون على أجنحة الفراشات، فلقد درس مارای سمات هذه الأشكال ووجد أنها شبيهة بالعيون (لقد تطورت هذه الأشكال لكى توهم أى كائن مفترس ينظر لهذه الفراشات من بعد أن يتصور أنها ليست فريسة سهلة وإنما عيون مخلوق كبير يحملق فيه) أدت دراسة هذه الأشكال إلى أنها يمكن أن تتكون بكيمياء بسيطة دون الحاجة لحفظ بصمة وراثية معقدة فى الفراشات، مما يدعم وجهة النظر بأن هذه الأشكال هى نتيجة التطور، ولكن جانبا مهما فى هذه الدراسة أوضح أنه يمكن لهذه الكيمياء أن تؤدى إلى اختلافات بسيطة لكنها مهمة. توصلت هذه الدراسة إلى أن حجم هذه البقع يعتمد على درجة الحرارة وكلما ازدادت درجة الحرارة كلما كبرت البقع.

أهمية هذه النقطة تكمن فى أن تغيرات بسيطة فى البيئة المحيطة يمكن أن تؤدى إلى تغيرات كبيرة فى تأثيرها فى الكائن عندما تصل الأمور إلى نقطة معينة حرجة، بحيث تنتقل الميكانيكية إلى صيغة أو أسلوب آخر. لقد أعطى مارای مثالا آخر يوضح هذه النقطة، وهو كيفية نمو أطراف الثدييات ، فإذا حدث نوع من الخلل عند نمو الأصابع فليس بالضرورة أن يؤدى هذا إلى أصابع أقصر أو أطول وإنما إلى نمو أصبع سادس مثلا. يمكن أن يحدث هذا بشكل طبيعى عن طريق التحور (mutation) أى عن طريق تغير طفيف فى البصمة الوراثية، ناتج ربما عن خطأ فى النسخ (copying error) الذى يؤدى إلى تغير طفيف فى التطور. سوف ينتقل هذا التغيير إلى الأجيال التالية مالم يكن هذا التحور ضارا. يفسر هذا لماذا تجرى مثل هذه الأمور فى العائلات، مثل عائلة آن بولين (Ann Boleyn) إحدى زوجات هنرى الثامن (Henry VIII) والذى ولد وله ستة أصابع على يد واحدة وإن كان قد قطع الإصبع السادس بسرعة. مثال آخر هو رجل من مدينة بوسطن بالولايات المتحدة الأمريكية والذى كان له يد مزدوجة بدون إبهام وسبعة أصابع مرتبة

على مجموعتين تحوى إحداها ثلاثة أصابع والأخرى أربعة على جانبى المكان الذى كان من المفترض أن يكون به الإبهام. يمكن أن يحدث هذا أيضا عند تطعيم خلايا برعم طرف على آخر (وأجريت مثل هذه التجارب فى لندن، وقد أجراها العالم لويس ولبرت (Lewis Wolpert) ورفاقه على الكتاكيت)، أمكن إجراء هذه التجارب فى نماذج محاكاة باستخدام ميكانيكية تيورينج فى نظم مشتتة على حافة الشواش. النقطة الحاكمة هنا أنه فى مثل هذه النظم أى تغير بسيط فى البيئة المحيطة أو أى تحورات بسيطة تؤدى إلى تغيرات كبيرة بشكل الجسم الذى يتطور.

هذه هى بعض الأمور الجديدة التى لم تكون معروفة لداروين والتى ترينا كيف يحدث التطور وما هى نتيجة هذا التطور.

الخلاصة أن فى النظم المشتتة يمكن أن تحدث تغيرات طفيفة أو أخرى كبيرة وخاصة عندما تكون قرب حالة الشواش. إن فهم كل هذا بالقدر المطلوب سوف يساعدنا على تفسير كيف تظهر الحياة نفسها والذكاء أيضا.