الفصل الثالث

الآلة الحية

الآلة، أى آلة، هى كيان مصنوع ينشئه الإنسان لإنجاز فعل ما سواء كان هذا الفعل ماديا، كتحريك شىء من مكان لآخر، أو كان فعلا غير مادى، كقياس الزمن أو إجراء بعض الحسابات. وهى كيان مصطنع حيث يشكله الإنسان من مكونات متفرقة ينظمها على "**هيئة**" بعينها لتؤدى جميعها بطريقة متناغمة مجموعة من "**العمليات**" المقررة سلفا التى تكون نتيجتها إنجاز الفعل المنشود. ووراء تصميم أى آلة "**نموذج تصورى**" Conceptual Model و"**مجرد**" Abstract فى مخيلة مصممها يتضمن الغرض المستهدف من إنشائها، والعمليات المختلفة اللازمة لتحقيقه، وكيفية تعاقب تنفيذ هذه العمليات. وتسمح الطبيعة المجردة للنموذج التصورى للآلة بإمكانية تجسيده ماديا بطرق مختلفة، فـ "**الساعة**" كآلة لقياس الزمن وتحديد الوقت، على سبيل المثال، يمكن تجسيدها على صور متعددة بدءا من "**الساعة الرملية**" التى تعتمد فى عملها على تساقط قدر محدد من الرمل تحت تأثير الجاذبية الأرضية، و"**المزولة الشمسية**" التى تعتمد على تغير ميل أشعة الشمس الساقطة عليها فى الإشارة إلى الوقت، و"**الساعة الميكانيكية**" التى تعتمد على الزمبركات فى إدارة عقاربها فى إيقاع منتظم، وانتهاء بـ "**الساعة الذرية**" التى تعتمد على معدلات الإشعاع للمواد المشعة فى قياس الوقت بدقة فائقة.

ساعة شمسية

ساعة رملية

ساعة ميكانيكية

هذا وتتنوع أساليب التعبير عن "النموذج التصورى" لأى آلة، فهى قد تكون "**لفظية**" Verbal باستخدام التعبيرات اللغوية، وقد تكون "**رسومية**" Graphical باستخدام المخططات والأشكال الهندسية، وقد تكون "**رمزية**" Symbolic باستخدام لغة الرياضيات. والأسلوب الأخير لوصف النماذج التصورية

للآلات هو الأسلوب الذى يمكنا من "**محاكاة**" Simulation أفعالها ومستويات أدائها على الحواسب. فأى "**نموذج رمزى (أو رياضى)**" لآلة ما يتضمن وصفا دقيقا للعمليات التى تقوم بها يمكن صياغته على صورة "**برنامج حاسوبى**" باستخدام واحدة من لغات البرمجة. ويحاكى هذا البرنامج، حال تشغيله على الكمبيوتر، سلوك الآلة محاكاة دقيقة تمكنا من معرفة خصائصها ومن تصرفاتها فى ظل ظروف تشغيلها المختلفة.

والآن، وعلى ضوء "**النموذج التصورى المجرد للآلة**"، "***هل يمكنا النظر إلى الكائن الحى بوصفه آلة***...؟"... إن الإجابة على هذا السؤال هى نعم، فالكائن الحى من هذا المنظور هو:

> آلة تهدف إلى "**الحفاظ على نفسها**" من خلال قيامها بعمليات "**الاستجابة للمؤثرات البيئية**" و"**التنامى**" و"**التطور**". وهى أيضا تسعى إلى "الحفاظ على نوعها" من خلال "**التوالد**".

ويقودنا "**نموذج الآلة للكائن الحى**" هذا إلى السؤال المحورى لموضوع "**الحياة الاصطناعية**"، من وجهة نظر المقاربة البرمجياتية، وهو:

- "**هل يمكن بناء "كائنات حاسوبية حية"؟**

  أو بعبارة أخرى

- **هل يمكن تصميم برمجيات تسلك حال تشغيلها على الكمبيوتر سلوكا شبيها بسلوك الكائنات الحية ؟**

الأتوماتون الحساب

تقتضى الإجابة على هذا السؤال دراسة متأنية لـ "**النموذج التصورى**" لـ "**آلة الكمبيوتر**"، والتى تعتبر الحواسب بشتى أنواعها بمثابة التجسيد المادى له. ويعزى الفضل فى إنشاء هذا النموذج، أو نموذج "**الآلة الحسابة العامة**" Universal Computing Machine، إلى عالم الرياضيات والمنطق الإنجليزى ألان تيورنج (١٩١٢-١٩٥٤م) Alan Turing، ففى منتصف الثلاثينات انصب اهتمام تيورنج على دراسة الجوانب المختلفة لـ "**مسألة الحسابة العامة**"

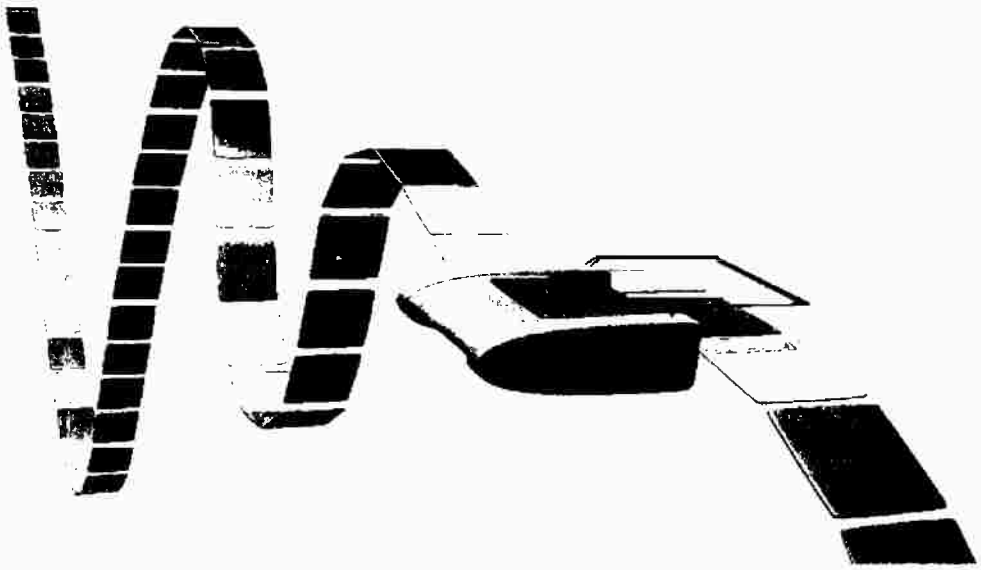
Universal Computation Problem المعنية ببحث إمكانية استخدام عدد محدود من القواعد الرياضية أو المنطقية المعروفة سلفا وذلك لحساب القيم العددية لأى دالة رياضية. وفى سنة ١٩٣٦ نشر نتائج بحثه فى ورقة علمية شهيرة، تعد الآن من كلاسيكيات أدبيات علوم الكمبيوتر، بعنوان "**عن الأرقام التى يمكن حسابها**" On Computable Numbers. وقد استخدم تيورنج فى بحثه هذا آلة تخيلية، عرفت بعد ذلك بـ "**آلة تيورنج**" Turing Machine، تتكون من مجموعة متناهية من قواعد (أو أوامر) التشغيل (برنامج تشغيل الآلة)، ومن ذاكرة ذات سعة لامتناهية لتخزين البيانات. ويمكن لهذه الآلة أن تتخذ عددا محدودا من الأوضاع المختلفة تعرف بـ "**الحالات الداخلية**" Internal States لها وتعبر كل منها عن قابليتها لأداء فعل بعينه. وتتعامل هذه الآلة مع أوامر تشغيلها "على التعاقب" Sequentially، بمعنى أنها تستجيب عند أى لحظة زمنية لأمر واحد فقط من أوامر التشغيل فتنتهى من تنفيذه لتنتقل بعد ذلك للأمر الذى يليه.

آلان تيورنج (1912 – 1945)

وتقتصر العمليات التى يمكن لهذه الآلة القيام بها على أربعة عمليات فقط هى:

- **قراءة عدد محدد من الرموز (الصفر والواحد على سبيل المثال) الموجودة فى ذاكرتها لامتناهية السعة.** وهى الذاكرة التى يمكن تمثيلها على هيئة شريط ورقى لانهائى الطول مقسم إلى خانات متساوية يمكن اعتبار كل منها بمثابة خلية من خلايا الذاكرة المهيئة لاختزان رمز واحد فقط من الرموز التى تتعامل معها الآلة.

- **تعديل محتوى إحدى خلايا الذاكرة**، وهو الأمر الذى يمكن تمثيله بتغيير الرمز الموجود فى إحدى خانات الشريط الورقى.
- **الانتقال من خلية ذاكرة إلى أخرى**، وهو الأمر الذى يمكن تمثيله بقدرتها على تحريك الشريط الورقى بمعدل خانة واحدة كل مرة وسواء كانت هذه الحركة للأمام أو للخلف.
- **تعديل حالتها الداخلية**، التى تعبر عن ماتنوى الآلة عمله فى خطوة حركتها التالية على الشريط.



الشكل (٣-١): رسم تخيلى لآلة تيورنج

ويتوقف ماتفعله الآلة عند أى لحظة على أمرين: حالتها الداخلية، ومحتوى خلية الذاكرة الواقعة تحت نظر الآلة، أى نوع الرمز الموجود فى خانة الشريط الورقى. بعبارة أخرى يتوقف فعل الآلة على قيم الزوج

(الحالة الداخلية الراهنة، الرمز المقروء)

وبناء على تلك القيم تقوم الآلة بثلاث عمليات:

[أ] تعديل محتوى خلية الذاكرة (تعديل الرمز الموجود على خانة الشريط الورقى).

[ب] الانتقال إلى خلية ذاكرة جديدة (تحريك الشريط بمقدار خانة واحدة).

[ج] تغيير الحالة الداخلية للآلة.

وهكذا تأخذ قاعدة (أمر) تشغيل آلة تيورنج الصورة العامة التالية:

إذا *(كانت الحالة الداخلية للآلة هى ...)*
و *(كان الرمز المقروء هو ...)*
إذن
[أ] عدل الرمز الموجود فى خلية الذاكرة ليكون ...
[ب] انتقل إلى خلية الذاكرة التالية.
[ج] غير الحالة الداخلية لتصبح ....

ويوضح الشكل (٣-٢) مثالا لتشغيل آلة تيورنج بسيطة لها حالتان داخليتان فقط هما (Q_1 , Q_2)وتتعامل مع رمزين فقط هما **(1, 0)** وذلك لإحلال العدد **10** محل العدد **1**.

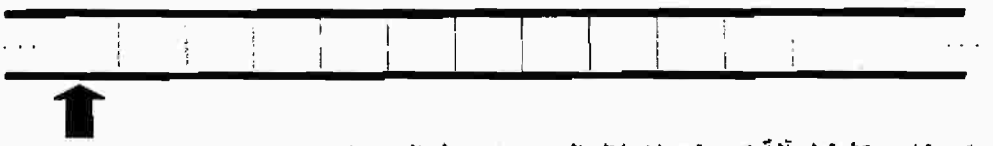
ولقد تمكن تيورنج بواسطة آلته تلك ذات البنية بالغة البساطة من إثبات نتيجة بالغة الأهمية تنص على مايلى:

نتيجة تيورنج رقم (١)

"يمكن تنفيذ أى عملية "حسابة" Computation، مهما بلغت درجة تعقدها، عبر سلسلة من العمليات الأولية البسيطة (الذرية)"

والعمليات الأولية البسيطة هى عمليات تماثل تلك التى تقوم بها آلة تيورنج. وتعود الأهمية الفائقة لهذه النتيجة إلى أنها القاعدة التى تعمل على أساسها كافة الحواسب المتاحة لنا أيا كان حجمها أو نوعها.

[أ] شريط آلة تيورنج لانهائى الطول والمؤشر الذى يحدد الخانة موضع الإهتمام



[ب] برنامج تشغيل آلة تيورنج لإحلال العدد 10 محل العدد 1

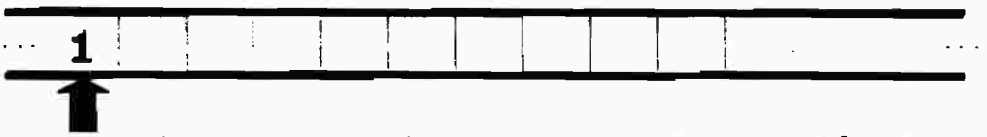
1- إذا (*كانت الحالة الراهنة للآلة هى* Q_1)
و (*كان الرمز فى الخانة المشار إليها هو* "1")
إذن
1-1- *اكتب الرمز* "1"
1-2- *حرك المؤشر خانة واحدة إلى اليمين*
1-3- *غير حالة الآلة لتصبح* Q_2

2- إذا (*كانت الحالة الراهنة للآلة هى* Q_2)
و (*كانت الخانة المشار إليها خالية*)
إذن
2-1- *اكتب الرمز* " 0 "
2-2- *حرك المؤشر خانة واحدة إلى اليمين*
2-3- *توقف*

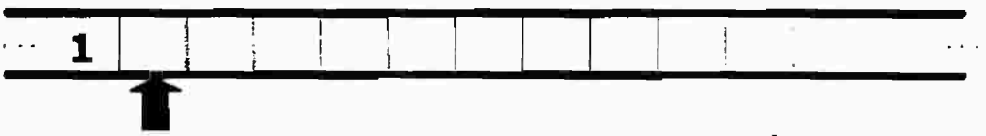
[ج] تشغيل برنامج آلة تيورنج

{تبدأ الآلة فى الوضع (1) لتنتهى إلى الوضع (3) مرورا بالوضع (2)}

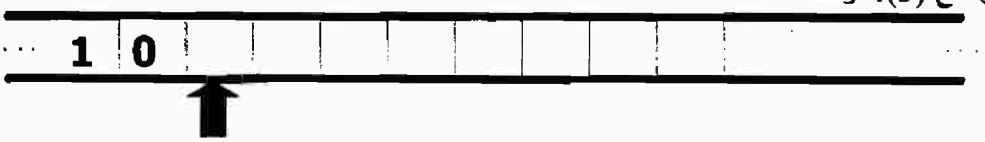
الوضع (1): الآلة فى الحالة Q_1، والرمز الموجود فى الخانة المشار إليها هو "1"



الوضع (2): الآلة فى الحالة Q_2، والرمز الموجود فى الخانة المشار إليها خالية



الوضع (3): توقف الآلة



الشكل (٣-٢): مثال لتشغيل برنامج بسيط على آلة تيورنج [٨]

الأتوماتون المستجيب

إلا أن النتيجة رقم (١) لم تكن النتيجة الهامة الوحيدة التى توصل إليها تيورنج، إذ توصل أيضا إلى نتيجة أخرى لاتقل فى الأهمية عنها.

نتيجة تيورنج رقم (٢)

"بمقدور آلة تيورنج محاكاة عمل آلة تيورنج أخرى والقيام بكافة العمليات التى تقوم بها وذلك إن زودت بوصف تفصيلى لها"

وفى هذه النتيجة يكمن مفتاح الإجابة على السؤال التالى:

"هل يمكن بناء آلة تيورنج (أتوماتون) بإمكانها محاكاة الكائن الحى...وتتمتع بخصائصه الفريدة ؟"

وهو السؤال الذى يمكن الإجابة عنه، بصفة عامة، بنعم وذلك انطلاقا من إمكانية بناء **"نموذج آلة للكائن الحى"** المراد محاكاته والتعبير عنه بأسلوب رمزى ثم تلقيمه لآلة تيورنج التى تقوم بعد ذلك بتشغيله. إلا أن الإجابة التفصيلية عليه تقتضى منا تفكيكه إلى أربعة أسئلة فرعية يتعلق كل منها بإحدى الخصائص المميزة لظاهرة الحياة:

[١] هل يمكن بناء آلة تيورنج تتمع بخاصية " **الاستجابة**" للمؤثرات البيئية ؟

[٢] هل يمكن بناء آلة تيورنج قادرة على " **النامى**" فتستخدم مايتوفر لها من مادة أو طاقة أو معلومات فى بناء تكوينات شبيهة بمكوناتها أو فى بناء آلات تيورنج أخرى ؟

[٣] هل يمكن بناء آلة تيورنج " **متوالدة**" بمقدورها إنتاج ذرية من آلات تيورنج تشبهها وتحمل صفاتها الوراثية وقادرة على التكاثر هى الأخرى؟

[٤] هل يمكن بناء آلة تيورنج قابلة لـ " **التطور**" فيزداد تعقد بنيتها مع مرور الزمن ؟

والإجابة على السؤال الأول هى بنعم انطلاقا من أن الخصائص المادية للكائن الحى متناهية يمكن حصرها فى عدد محدود من الخصائص يتضمن على سبيل المثال حجم الكائن وزمن استجابته للمؤثرات الخارجية وتعداده ومعدل تكاثره. ومن ثم يمكن نمذجة الكائن الحى على هيئة آلة تيورنج يسجل على شريطها بصفة مبدئية الخصائص المادية له، بالإضافة إلى الظروف البيئية المحيطة به والتفاعلات المحتملة بينه وبين أقرانه. ويوفر طول الشريط اللانهائى حيزا لانهائيا لتخزين ماقد يقع لهذا الكائن ولأقرانه من تطورات لاحقة، أى أنه يعتبر بما يحتويه من بيانات متغيرة ومتزايدة كونًا إصطناعيًا صغيرًا.

الأتوماتون الولاد

والآن، وبعد أن أجبنا على السؤال الأول المتعلق بقدرة آلة تيورنج على محاكاة أولى خصائص الكائن الحى، خاصية "**الاستجابية**" Irritability، ننتقل إلى السؤال الثانى المتعلق بقدرتها على محاكاة "**التنامى**" Growth. والإجابة على هذا السؤال هى بدورها بسيطة يمكن استقراءها مباشرة من نتيجة تيورنج الثانية، إذ بمقدور آلة تيورنج على تشكيل تكوينات شبيهة بمكوناتها أو حتى على إنتاج آلات تيورنج أخرى حال تزويدها بـ "**أوصاف**" تلك التكوينات والآلات.

إلا أن الإجابة على السؤال الثالث، الذى يمكن إعادة صياغته على الصورة التالية:

هل يمكن بناء آلة تيورنج (أتوماتون) قادرة على *"التوالد" (التناسل، التكاثر) Reproduction*؟...أى آلة تيورنج يمكنها *"الحفاظ على نوعها"*... بإعادة إنتاج ذرية من آلات تيورنج تشبهها وتحمل فى جنباتها المعلومات التى تمكنها، هى بدورها، من التناسل وإعادة إنتاج أشباهها ؟

ليست بأى حال بسيطة أو مباشرة كما هو فى حالة السؤالين الأولين.

وكان جون فون نيومان John von Neumann، هو أول من حاول إجابة هذا السؤال. وفون نيومان هذا هو عالم رياضيات أمريكى من أصل مجرى تركت

فون نيومان (1903 - 1957)

أبحاثه بصمات واضحة على علوم النصف الثانى من القرن العشرين. فبالإضافة إلى تأسيسه لعلم "نظرية المباريات" Game Theory ولفكرة "الأتوماتا الخلوية" Cellular Automata كانت له إسهاماته الواضحة فى ميكانيكا الكم Quantum Mechanics والفيزياء النووية.

وبادئ ذى بدء لاحظ فون نيومان تباينا هاما بين "**منتج الآلة**" و"**منتج الكائن الحى**". فبنية "**منتج الآلة**" أقل تعقدا من بنية الآلة المنتجة له، فخطوط تجميع منتج ما، على سبيل المثال، أكثر تعقيدا من المنتج نفسه. هذا بينما تتمتع "**ذرية (منتجات) الكائنات الحية**" ببنى لاتقل تعقيدا عن بنى أسلافها، بل وتزداد تلك البنى تعقدا عبر عمليات "**التطور**" طويلة المدى. وقد دفعت تلك الملاحظة فون نيومان لبحث إمكانية بناء "**أتوماتون ولاد**" Self-producing Automaton يكون بمقدوره إنتاج أتوماتونات أخرى لاتقل بنيتها تعقيدا عن بنيته هو نفسه. وهى المسألة التى صاغها على هيئة السؤال التالى "**هل يمكن تصميم أوتوماتون قادر على محاكاة آلة تيورنج (الأتوماتون الحساب) ويمكنه فى الوقت نفسه إعادة إنتاج ذاته (الأتوماتون الولاد)** ؟".

وللإجابة على هذا السؤال افترض فون نيومان، انطلاقا من نتيجة تيورنج الثانية، أن أتوماتونا A بمقدوره إنتاج أتوماتون آخر X حال تلقيمه بـ "**وصف X**"، أى $\Phi(X)$. إلا أن المطلوب فى حالتنا هذه ليس مجرد إنتاج نسخة "**عاقر**" من X، بل إنتاج نسخة "**ولادة**" قادرة على التناسل وإنتاج ذرية شبيهة بها. فالكائن الحى يحمل فى جيناته خصائصه المميزة لنوعه (وصف ذاته) التى

يورثها لذريته فتنشأ شبيهة به وقادرة هى بدورها على توريثها لذريتها. وقد يبدو، للوهلة الأولى، أن حل هذه المشكلة أمر هين فما علينا إلا أن نلقم الأتوماتون الناسخ A، بالإضافة إلى وصف X، "**وصفا لوصيف X**"، أى Φ(Φ(X))، حتى يكون الناتج

$$X + \Phi(X)$$

أى الأتوماتون X متضمنا وصفا لذاته. ولكن هذا لن يحل مشكلة "**عقم**" الأتوماتون الوليد إذ إنه سيستهلك "**وصف نفسه**"، Φ(X)، فى إنتاج نسخة شبيهة به ليصبح لدينا نسختين منه. إلا أن أيا منهما لن يكون قادرا على إنتاج نفسه لعدم توفر "**وصف الذات**" اللازم لإتمام عملية التكاثر. وباتباع نفس طريقة التفكير السابقة قد يبدو حل هذه المشكلة فى تلقيم الأتوماتون A المعلومات التالية

$$\Phi(X) + \Phi(\Phi(X)) + \Phi(\Phi(\Phi(X)))$$

أى

"**وصف X**"، Φ(X)، اللازم لإنتاج الأتوماتون X؛

و"**وصف (وصف X)**"، Φ(Φ(X))، اللازم لإنتاج "**وصف X**"، Φ(X)؛

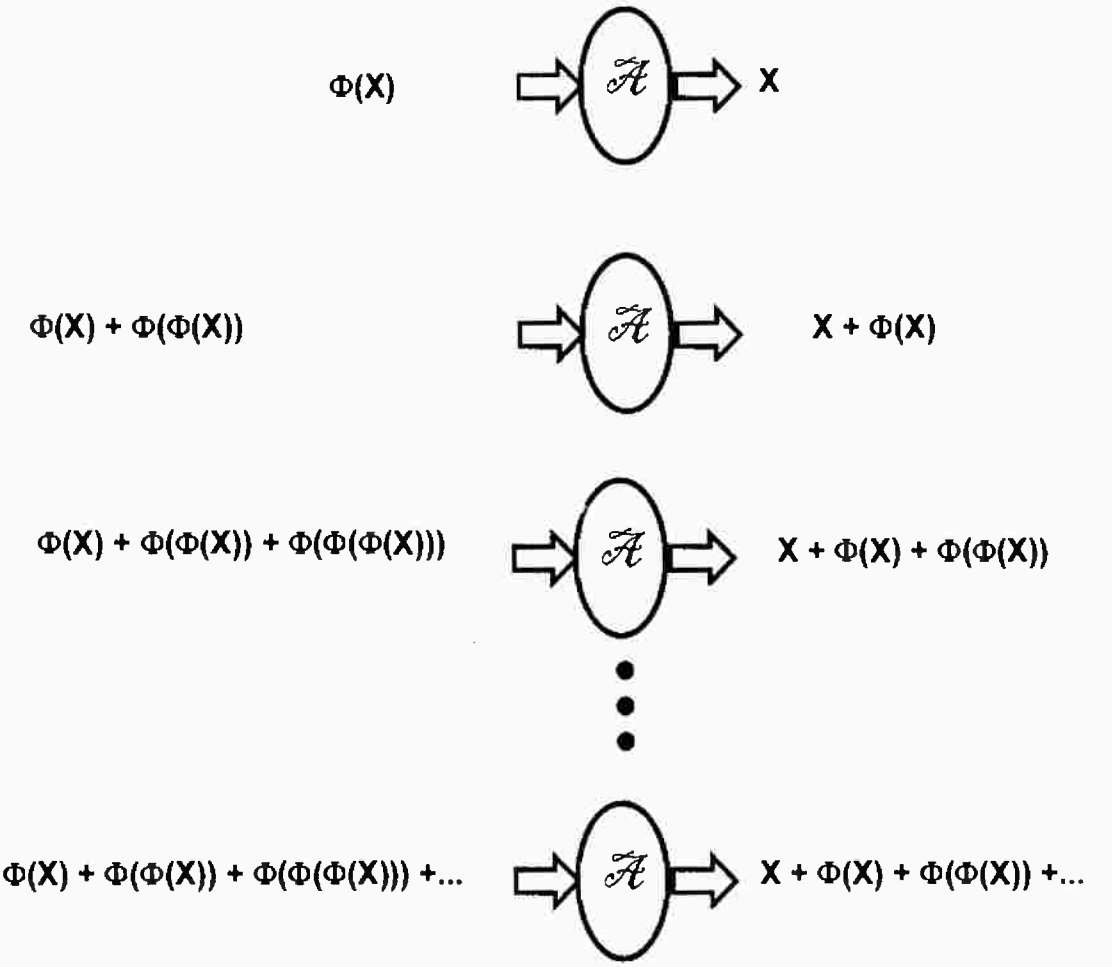
و"**وصف (وصف (وصف X))**"، Φ(Φ(Φ(X)))، اللازم لإنتاج "**وصف (وصف X)**"، Φ(Φ(X))؛

وذلك لإنتاج

$$X + \Phi(X) + \Phi(\Phi(X))$$

أى الأتوماتون X و"**وصفه**" و"**وصف وصفه**".

إلا أن هذا لن يحل المشكلة وسيقودنا فى النهاية إلى نفس الموقف السابق لنجد أنفسنا منقادين إلى سلسلة لانهائية من الأوصاف المتداخلة، وإلى الوقوع فى دوامة "**التعاود اللامتناهى**" Infinite Recursion، كما يطلق عليها أهل الرياضيات (الشكل (٣-٣)).



الشكل (٣-٣): مشكلة "**التعاود اللامتناهى**"

وللتغلب على هذه المشكلة اقترح فون نيومان بنية جديدة لـ "**توماتون بنـاء**" U يمكنه إنتاج "**نسخ متوالدة**" لأى أتوماتون آخر X، أى الأتومـاتون نفسه بالإضافة إلى وصفه Φ(X) + X. وتتكون هذه البنية من ثلاثة مكونات هـى [٩، ١٠]:

- المكون الأول A هو مايعرف بـ "**الآلـة البنـاءة العامـة**" Universal Constructive Machine وهو الأتوماتون المسئول عـن قـراءة وصـف الأتوماتون X المزمع بناؤه Φ(X) واستخدام هذا الوصف فى بناء نـسخة منه. ويمكن تمثيل هذه العملية على الصورة التالية:

$$A + \Phi(X) \Rightarrow X$$

حيث يمثل الرمز ⇒ عملية البناء.

- المكون الثانى **B** هو مايعرف بـ "**آلة النسخ العامة**" General Copying Machine. وتقتصر مهمة هذا المكون على إنتاج نسخ من وصف الأتوماتون المزمع بناؤه وهو الأمر الذى يمكن تمثيله على الصورة التالية:

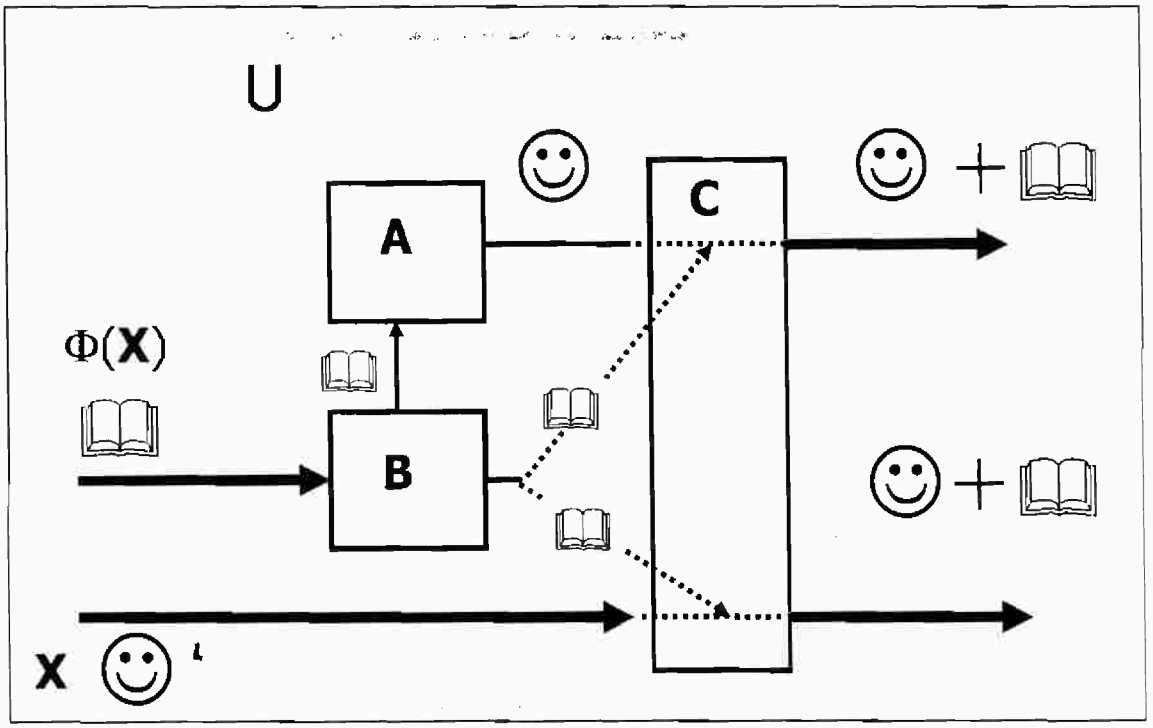
$$B + \Phi(X) \Rightarrow \Phi(X)$$

- المكون الثالث **C**، الذى يعرف بـ "**آلة التحكم**" Control Machine، هو المكون المسئول عن:
  - تفعيل المكون **B** وحثه على إنتاج نسخ من وصف **X**، أى $\Phi(X)$،
  - حث المكون **A** على استخدام $\Phi(X)$ لإنتاج الأتوماتون **X**،
  - تضمين الأتوماتون الوليد **X** وصفا لذاته مستخدما أحد نسخ $\Phi(X)$ التى أنتجها المكون **B**.

ويمكن تلخيص هذه العملية على الصورة التالية:

$$A + B + C + \Phi(X) \Rightarrow X + \Phi(X)$$

ويوضح الشكل (٣-٤) مخططا مبسطا يوضح عمل الأتوماتون البناء **U** الذى يتلقى نسخة من الأتوماتون **X** مصحوبة بوصفه $\Phi(X)$. ويتلقى المكون **B** هذا الوصف ليصدر منه ثلاث نسخ يرسل أحدها إلى المكون **A** والأخريان إلى المكون **C**. ويقوم المكون **A** بإستخدام الوصف الذى تلقاه فى إنتاج نسخة طبق الأصل من الأتوماتون **X** ليصبح لدينا منه نسختان. وهنا يقوم المكون **C** بتضمين كل من الأتوماتونين، الأصلى ونسخته، بنسخة من أوصافهما ليصبح لدينا فى النهاية وليدان متكاملان من الأتوماتون **X**.



الشكل (٣-٤): مخطط مبسط لعمل "الأتوماتون البناء"

والآن، وبعد أن تمكن فون نيومان من التغلب على مشكلة "**التعاود اللامتناهى**" وتوصل للبنية الملائمة لـ "**الأتوماتون البناء**"، U، التى تمكنه من إنتاج "**نسخ متوالدة**" لأى أتوماتون X، يصبح بناء "**الأتوماتون المتكاثر**"، D، القادر على إنتاج ذرية شبيهة به، أمرا ميسورا. وتشبه بنية هذا الأتومـاتون بنية الأتوماتون البناء فهى تتكون هى الأخرى من نفس المكونات، B و C و A. أى أن

$$D = A + B + C$$

إلا أن المكون A يختزن بداخله "**وصف الأتوماتون D**"، أى Φ(D)، أو التعليمات اللازمة والكافية لكى ينتج الأتوماتون D نسخة من نفسه. وتتم عملية تكاثر الأتوماتون D، طبقا لآلية "**التكاثر اللاجنسى**" Asexual Reproduction التى تبناها فون نيومان، عبر الخطوات الثلاث التالية (الشكل (٣-٥)):

[١] يقوم المكون B بإنتاج ثلاث نسخ طبق الأصل من "**وصف الأتومـــاتون D**"، $\Phi_1(D), \Phi_2(D), \Phi_3(D)$ ، ويرسلها إلى المكون C؛

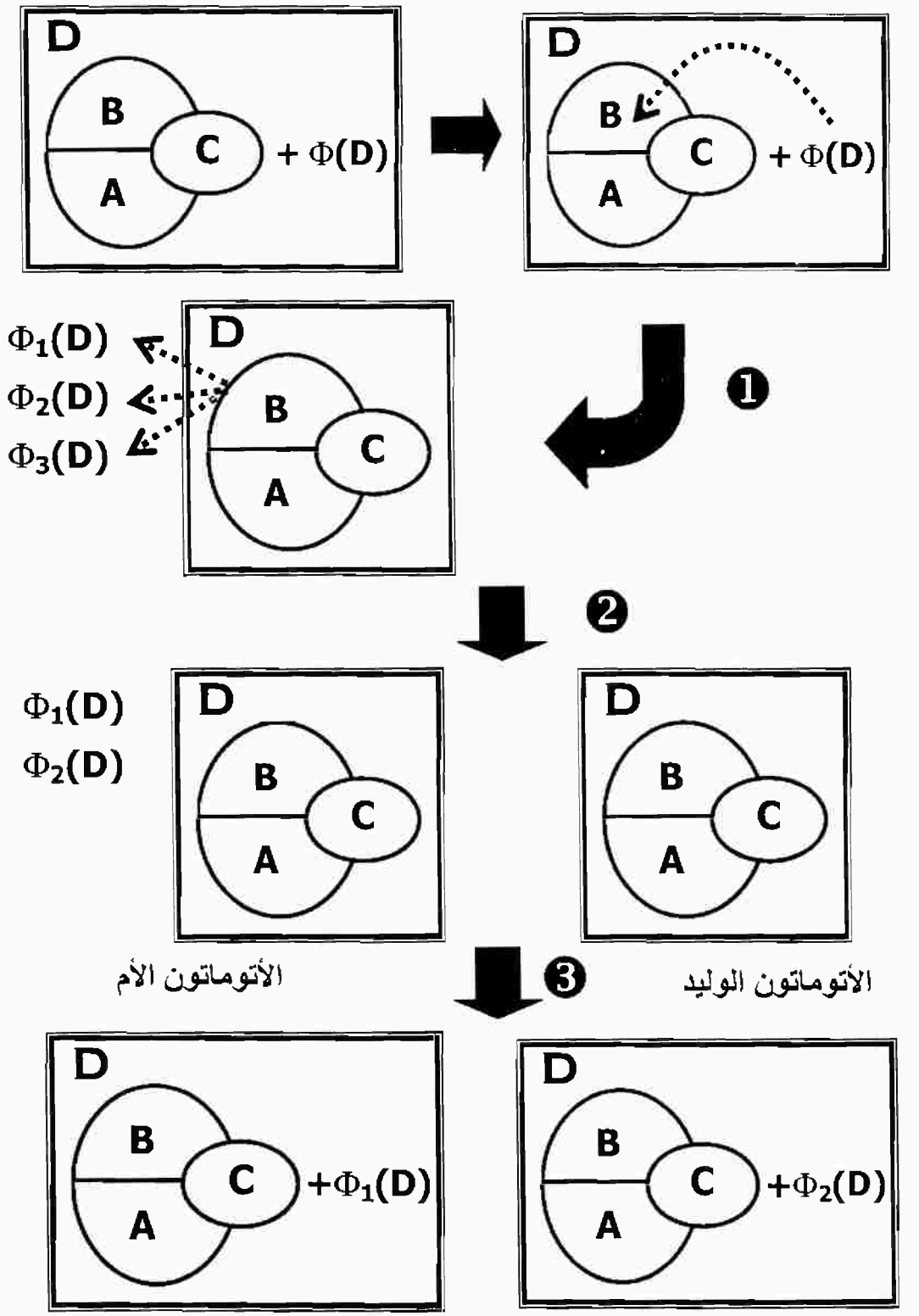
[٢] ستهلك المكون A نسخة من نسخ "**وصف الأتومـــاتون D**"، $\Phi_3(D)$ ، فى إنتاج نسخة طبق الأصل من الأتوماتون D؛

[٣] يقوم المكون C بتضمين الأتوماتون الوليد بنسخة "**وصف الأتوماتون D**" التى سبق وأن تلقاها من المكون B، $\Phi_2(D)$، ثم يفصله ككيان مـــستقل يشبه تماما الأتوماتون الأم D. كما يقوم المكـــون C أيـــضا بتـــضمين الأتوماتون الأم نسخة من وصفه $\Phi_1(D)$.

هذا ويمكن إيجاز هذه العملية على الصورة التالية:

$$D_{Parent} + \Phi(D) \Rightarrow D_{Parent} + \Phi(D) + [D_{Child} + \Phi(D)]$$

والأمر المثير حقا هو أن نموذج الأتوماتون المتكاثر هذا، الذى توصل إليـــه فون نيومان بناء على اعتبارات رياضية ومنطقية، يشبه فى كثير من جوانبه ما اكتشفه لاحقا علماء "**الهندســـة الوراثيـــة**" Genetic Engineering. فعمـــل المكون B بماثل عمل جزىء حامض الـــ "**دنا**" DNA الموجود فـــى الخليـــة الحية والمسئول عن تشفير وحفظ الخصائص الوراثية للكـــائن الحـــى. أمـــا المكون A فيماثل عمله عمل إنزيم الـــ "**دنا بـــوليمريس**" DNA Polymerase الذى يحفز انقسام ضفيرة جزىء الدنا تمهيدا لاستنساخ "**المورثـــات**" Genes. وفى النهاية يقوم المكون C بعمل مشابه لعمل المنظومة المشكلة من: جزىء حامض الـــ "**رنا**" RNA حامل الرسائل، والـــ "**إنزيمـــات**" Enzymes، والـــــ "**ربوسومات**" Ribosomes. وهى المنظومة المسئولة عن توليـــف الأحمـــاض الأمينية مع بعضها البعض لتكوين الإنزيمات والبروتينات الأخرى اللازمـــة لبناء الخلية الحية وذلك طبقا لأوصافها المختزنة فى جزىء الدنا [١١].



الشكل (٣-٥): مخطط مبسط لتكاثر "الأتوماتون المتكاثر"